

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

MODELAGEM DE BANCO DE DADOS
GEORREFERENCIADO
PARA SUBSIDIAR A GESTÃO DO TRANSPORTE COLETIVO
URBANO

Elaine Matheus Messias de Andrade

São Carlos - SP

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

MODELAGEM DE BANCO DE DADOS
GEORREFERENCIADO
PARA SUBSIDIAR A GESTÃO DO TRANSPORTE COLETIVO
URBANO

Elaine Matheus Messias de Andrade
Orientador: Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

São Carlos - SP
2006

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A553mb

Andrade, Elaine Matheus Messias de.

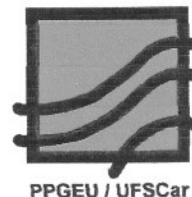
Modelagem de banco de dados georreferenciado para subsidiar a gestão do transporte coletivo urbano / Elaine Matheus Messias de Andrade. -- São Carlos : UFSCar, 2007.

120 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2006.

1. Engenharia de transportes. 2. Modelagem de dados. 3. Transporte urbano. 4. Sistemas de informação geográfica. 5. SPRING (Programa de computador). 6. Modelo de dados OMT-G. I. Título.

CDD: 629.04 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

ELAINE MATHEUS MESSIAS DE ANDRADE

Dissertação defendida e aprovada em 30/10/2006
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Evaristo Atencio Paredes
(PEU/UEM)

Prof. Dr. Antônio Nelson Rodrigues da Silva
(STT-EESC/USP)

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
Presidente da CPG-EU

Dedico esta dissertação ao meu amado esposo Renato e as minhas queridas filhas Rebeca e Isabella pelo amor, compreensão e pelas vidas compartilhadas.

AGRADECIMENTOS

A Deus que tem a primazia sobre tudo e todos, que tem me abençoado durante a minha caminhada e me sustentando com sua mão poderosa. A Ele toda honra, glória e louvor para todo o sempre. Porque dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas.

Ao meu querido esposo, Renato, amigo e companheiro, pela paciência, firmeza, pela dedicação às nossas filhas nos momentos de minha ausência e por compartilhar dos meus sonhos.

As minhas filhas Rebeca e Isabella, por seus carinhos e sorrisos, e por toda paciência e compreensão durante os momentos que não pudemos estar juntas.

Aos meus pais, Laerte e Rosária, pela formação e educação recebidas, e pelo ensino de força e perseverança, que muito me ajudaram a superar os obstáculos em toda caminhada.

Ao Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr., meu orientador, pela valiosa oportunidade que me concedeu, por sua orientação e confiança em mim depositada e pela demonstração de amizade e consideração.

Ao Prof. Dr. Sérgio Antônio Röhm, pelo grande incentivo ao início deste mestrado, apoio, sugestões e amizade demonstrada no decorrer do curso.

Ao Prof. Dr. Antônio Néson Rodrigues da Silva, cujos comentários e excelentes sugestões serviram para enriquecer este trabalho.

Ao Engenheiro Waldomiro Fantini Jr., da Diretoria de Transporte da Empresa de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru - EMDURB, pelas informações fornecidas sobre o Transporte Coletivo do município.

Ao Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo da Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho - UNESP/Bauru, pela disponibilização do mapa digital do município.

As amigas Ana Cristina e Daniele, e ao amigo Adalberto, companheiros de mestrado, pela alegria, pelo valioso apoio, carinho e companheirismo constantes nessa caminhada, que fizeram desse período mais feliz.

Aos amigos Luis, Fernando, Cesar, Arnaldo, Tiago, Karen e Analúcia do Departamento de Água e Esgoto de Bauru, cujas valiosas sugestões e colaborações foram imprescindíveis ao desenvolvimento final deste trabalho, além da preciosa consideração e amizade demonstradas.

Aos colegas da turma do curso de pós-graduação pelo convívio que durante o mestrado resultou em novas amizades.

Aos meus familiares e amigos, enfim, a todos aqueles que estiveram ao meu lado, torcendo e apoiando este projeto.

RESUMO

Muitos SIGs ignoram as fases essenciais do projeto, como a modelagem de dados, comprometendo o desenvolvimento futuro do sistema. Considerada de grande importância no desenvolvimento do projeto, a modelagem está sendo abordada neste trabalho, visto o grande volume de dados existentes em sistemas de transportes e a necessidade eminente de manipulá-los de forma segura, rápida e confiável. Para isso, portanto, propõe-se uma modelagem para banco de dados georreferenciado, conforme a notação gráfica do modelo OMT-G de BORGES (1997), para subsidiar a gestão do transporte coletivo urbano. O método adotado para o desenvolvimento da modelagem foram os níveis de abstração de CÂMARA & DAVIS Jr. (1999). A aplicação do modelo conceitual desenvolvido será realizada em um projeto piloto, considerando os dados referentes ao Transporte Coletivo levantados na Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru - EMDURB, utilizando a ferramenta SIG SPRING e o banco de dados Access. Tendo em vista a dificuldade que a administração pública encontra em obter recursos e a facilidade encontrada na aquisição dessas ferramentas, consideradas, uma de domínio público e outra de baixo custo, a administração interessada, sobretudo as cidades de médio e pequeno porte, em implementar esta modelagem, não necessitará de grandes investimentos para o desenvolvimento do projeto e a conseqüente obtenção de informações georreferenciadas referentes ao transporte coletivo.

ABSTRACT

Many GIS developers ignore the essential phases of the project like modeling databases, damaging the future development of the system. Considered very important to the project development, modeling will be broached in this article due to the great volume of existing data in transport systems and the need to manipulate them in a safe, reliable and fast way. In order to do it, a model for georeferenced database is being purposed, according to OMT-G graphical notation model form BORGES (1997), to subsidize the management of the urban public transport. The method adopted for the modeling development was CÂMARA's (1999) abstraction levels. The application of the conceptual model developed will be carried out on a sample project considering the data referred to the public transport system raised at EMDURB – Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru, using a GIS SPRING tool and an Access database. Considering the difficulties the public administration finds in raising resources and the easiness to obtain these tools, considered one of public domain and another of low costs, the interested administration, specially in the medium and small cities, in introduce this model won't need great investments for the project development and the consequent procurement of georeferenced information regarding the public transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Integração dos aspectos da tecnologia computacional	13
Figura 02 – Componentes de um sistema	25
Figura 03 – Evolução conceitual de Sistema para o gerenc. do meio Físico	27
Figura 04 – Ciclo de extração e utilização de informações	28
Figura 05 – Representação de arquivos flat	34
Figura 06 – Representação hierárquica de registros em um banco de dados.....	35
Figura 07 – Representação de arquivos de estrutura em redes	37
Figura 08 – Banco de Dados com estrutura relacional.....	39
Figura 09 – Programação Estruturada x Orientada a objeto	40
Figura 10 – Modelo de Dados geo-relacional	45
Figura 11 – Níveis de abstração de aplicações geográficas	51
Figura 12 – Níveis de especificação de aplicações geográficas.....	52
Figura 13 – Construtores básicos do Modelo ER	60
Figura 14 – Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G	71
Figura 15 – Geo-Objetos	72
Figura 16 – Geo-Campos	72
Figura 17 – Diagrama de Temas.....	87
Figura 18 – Meta Modelo Parcial para Transporte Coletivo	88
Figura 19 – <i>Stencil</i> OMT-G do software Microsof Visio.....	90
Figura 20 – Modelo OMT-G para Transporte Coletivo	91
Figura 21 – Visuais de Apresentação Gráfica.....	95
Figura 22 – Dados de Referência Geográfica do Projeto	97
Figura 23 – Inserção de dados analógicos.....	99

Figura 24 - Associação dos dados gráficos com não gráficos.....	100
Figura 25 - Inserção dos Pontos de Parada e Abrigos	101
Figura 26 - Mapa Temático Itinerário: Centro-Geisel.....	102
Figura 27 - Mapa Temático Abrangência do Itinerário Centro - Geisel.....	104
Figura 28 - Consulta por Atributos.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Descrição e tipos de representações das Classes e Objetos.....	93
Tabela 02 - Descrição das Categorias.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

Access	_	Nome de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional
CAD	_	Desenho auxiliado por computador - Software de desenho
DFD	_	Modelo de Diagrama de Fluxo de Dados
DPI	_	Divisão de Processamento de Imagens
ECCB	_	Empresa Circular da Cidade de Bauru
EMDURB	_	Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru
EMTU	_	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
EMTURB	_	Empresa Municipal de Transportes Urbanos de Bauru
ER	_	Modelo de Diagrama Entidade-Relacionamento
Geo-ER		<i>Entity-Relational Model for geographic Applications</i> - Técnica de Modelagem
GeoOOA		<i>Object-oriented Analysis Method</i> - Técnica de Modelagem
GMOD		<i>Object-oriented Analysis Method</i> - Técnica de Modelagem
IBM-PC	_	Microcomputador do tipo IBM
Id	_	Código Identificador
IFO		<i>Is-a relationships, Functional relationships, complex Objects</i>
INPE	_	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTU	_	Imposto Predial Territorial Urbano
LEGAL	_	Linguagem Espaço-Geográfica baseado em Álgebra - Linguagem de Programação
MADS		<i>Modeling of Application Data with Spatiotemporal</i> - Técnica de Modelagem
MCD	_	Modelo Conceitual de Dados
MDL	_	Modelo Lógico de Dados
MFD	_	Modelo Físico de Dados
MNT	_	Modelo Numérico de Terreno
Modul-R		<i>Formalism Modul-R</i> - Técnica de Modelagem
MySQL	_	Tipo de Sistema Gerenciador de Banco de Dados

OMT	_	Técnica de Modelagem de Objetos
OMT-G	_	Técnica de Modelagem de Objetos para Aplicações Geográficas
Oracle	_	Tipo de Sistema Gerenciador de Banco de Dados
RISC	_	Conjunto reduzido de instruções computacionais - Modelo de Arquitetura do Computador
SGA	_	Área Global do Sistema
SGBD	_	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGBDR	_	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional
SIG	_	Sistema de Informações Geográficas
SIT-FOR	_	Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza
SPRING	_	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - Software SIG
SQL	_	Linguagem de Consulta Estruturada
TransCAD	_	Tipo de um Software de Sistema de Informações Geográficas
UFSCar	_	Universidade Federal de São Carlos
UML	_	Linguagem de Modelagem Unificada
UNESP	_	Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"
UNIX	_	Nome de um Sistema Operacional
USP	_	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	2
1.2	Justificativa	2
1.3	Estrutura do trabalho	5
2	O TRANSPORTE E A CIDADE	8
2.1	O Transporte como indutor do surgimento das cidades	8
2.2	Importância do Transporte Coletivo	9
2.3	Gestão e Operação do Transporte Coletivo	11
3	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG	12
3.1	Aplicações do SIG	15
3.2	Sistemas de Informações Geográficas no Transporte	16
3.3	SIG SPRING	18
4	BANCO DE DADOS	22
4.1	Dado, Informação, Informação Geográfica e Sistemas de Informação	24
4.2	Do Dado à Informação Geográfica	27
4.3	Banco de Dados Geográficos	29
4.4	Banco de Dados Georreferenciados em Transportes	31
4.5	Estrutura de Banco de Dados	34
4.5.1	Arquivos Flat	34
4.5.2	Estrutura Hierárquica	34
4.5.3	Estrutura de Redes	36
4.5.4	Estrutura Relacional	37
4.5.5	Estrutura Orientada a Objetos	39
5	SISTEMA GERENCIADOR DE BANCO DE DADOS - SGDB	41
5.1	MySQL	43
5.2	Oracle	43
5.3	Microsoft Access	44
5.4	SGBD Relacionais e o SIG	44
5.5	SIG SPRING e o SGBDR Access	45
6	MODELAGEM DOS DADOS	47
6.1	Modelo de Dados	48
6.2	Modelo de Dados Conceituais	54
6.2.1	Modelo de dados Semânticos	57
6.2.1.1	Modelo Entidade-Relacionamento	59

6.2.2 Modelagem Orientada a Objetos	62
6.3 Modelo de Dados Geográficos	66
6.4 Modelo OMT-G	69
7 MÉTODO	74
7.1 Descrição dos níveis de abstração	74
7.1.1 Nível do Mundo Real	74
7.1.2 Nível Conceitual	76
7.1.3 Nível de Representação	77
7.1.4 Nível de Implementação	77
8 APLICAÇÃO DO MÉTODO	79
8.1 Transporte coletivo no município de Bauru - objeto de estudo	79
8.1.1 Caracterização da cidade	79
8.1.2 Histórico e Legislação	79
8.1.3 Importância	81
8.1.4 Gestão e Operação	81
8.2 Método Proposto: aplicação para o caso da cidade de Bauru	83
8.2.1 Nível do Mundo Real	83
8.2.2 Nível Conceitual	86
8.2.3 Nível de Representação	89
8.2.4 Nível de Implementação	96
9 CONCLUSÕES	107
10 REFERÊNCIAS	109
ANEXOS	116

1 INTRODUÇÃO

Para um governo municipal desempenhar uma administração eficiente é necessário compreender a complexidade e o volume dos dados envolvidos nas atividades distintas, e para isso é necessário que possua um banco de dados bem definido e estruturado, com o propósito de ser mantido, acessado e recuperado de forma segura, rápida e confiável.

O uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) torna possível o armazenamento, manipulação e análise das informações provenientes de diferentes fontes de informação, em uma única base integrada de dados (CÂMARA *et al.*, 1996), proporcionando ao administrador obter uma visão holística do mundo real.

Por este motivo, o SIG, está se tornando uma ferramenta indispensável para a administração pública, a auxiliar suas diversas empresas, a gerenciar suas tarefas mais eficientemente, possibilitando a associação de informações quantitativas e espaciais.

O uso do SIG no Transporte Coletivo pode auxiliar a administração a acompanhar a sua dinâmica, permitindo estabelecer uma integração dos dados gráficos contidos no mapa digital da cidade, com os dados não gráficos contidos no banco de dados.

Segundo DAVIS Jr. & BORGES (1994), o sucesso da implementação de um SIG é dependente da qualidade da transposição de entidades do mundo real para uma base de dados informatizada. Essa transposição é obtida através da modelagem de dados que, de acordo com BORGES (1997), é de fundamental importância para a correta representação da realidade nas aplicações geográficas.

Paralelamente, a literatura que trata sobre SIG em Transporte Coletivo, não tem abordado o conseqüente desenvolvimento da modelagem de banco de dados.

1.1 Objetivo

Este trabalho de pesquisa propõe desenvolver um modelo conceitual de um banco de dados georreferenciados aberto para ser utilizado em administrações municipais de médio e pequeno porte, no desenvolvimento, implantação, manutenção e controle dos dados para subsidiar a gestão dos serviços de transporte coletivo urbano por ônibus. A aplicação do modelo conceitual desenvolvido será realizada em um projeto piloto, considerando os dados obtidos em uma cidade de médio porte, Bauru.

1.2 Justificativa

Com a evolução dos centros urbanos e o aumento do número de objetos geográficos dispostos nas vias das cidades e a necessidade de constante atualização de seus cadastros, em sua maioria realizada ainda de forma analógica, as informações, fornecidas pelos distintos órgãos pertencentes à administração pública, se tornam geralmente redundantes, imprecisas e até mesmo equivocadas, dificultando a representação das mesmas.

Esses órgãos da administração pública desenvolvem atividades de especialidades distintas, porém fortemente interligadas. Essas atividades devem ser realizadas de forma eficiente, e para isso é necessário o conhecimento e compreensão da correlação existente, entre o grande volume de informações que os mesmos possuem.

No entanto, verifica-se, em algumas administrações, uma grande carência e ineficácia na estruturação e comunicação de sua base de dados, que pode ocorrer, tanto nos órgãos internos como externos da administração municipal, culminando, muitas vezes, em ações imprecisas por parte dos agentes executivos governamentais.

A administração do transporte coletivo também necessita acompanhar a dinâmica do município, pois à medida que a cidade cresce, os serviços de transporte coletivo necessitam ser alterados, pois os pólos geradores de demanda de

transporte deixam de se localizar somente no centro da cidade devido, tanto à expansão do território ocupado pela área urbana, como também às mudanças nos padrões de uso do solo, fazendo surgir novas necessidades de transporte.

Pode-se observar a dificuldade encontrada, no que se refere à gestão e operação do transporte coletivo no município de Bauru, quando se trata de obter informações referentes ao itinerário dos ônibus ou características do ponto de parada, dentre outros, onde a atualização dos cadastros é realizada de forma analógica, através de controles manuais.

Fica evidente a necessidade da administração de controlar e interpretar os dados referentes ao transporte coletivo, e de mantê-los em uma base estruturada, integrada e compartilhada, tornando-os de fácil acesso, viabilizando consultas, relatórios e informações rápidas que possam atender às necessidades existentes acompanhando a dinâmica da gestão e operação do transporte coletivo urbano.

Para atender às necessidades existentes, acompanhando as constantes alterações da operação do transporte coletivo, é fundamental que a administração pública possua um banco de dados bem definido e estruturado. O uso de uma ferramenta SIG juntamente com Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGDB) auxiliará a gestão pública a acompanhar essa dinâmica, ajudando a administrar e a interpretar os dados de forma eficiente, facilitando o acesso, viabilizando consultas, relatórios e informações rápidas, proporcionando os resultados esperados e promovendo qualidade de vida aos seus clientes.

O SIG propicia o domínio sobre o espaço geográfico da área de gestão, bem como dados de suas características, também possibilita a integração desejável entre empresas e diretorias e a devida atualização e precisão na estruturação de um banco de dados integrado, o qual pode ser utilizado por toda administração pública, acima de qualquer disposição física e hierárquica que os órgãos envolvidos possam ter. Segundo CÂMARA et al. (1996), a utilização de SIGs facilita a integração de dados coletados de fontes heterogêneas, de forma transparente ao usuário final.

O uso de uma ferramenta SIG pode representar uma redução nos custos dos processos de atualização e substituição de mapas e documentos em papel,

gerados a partir de estratégias convencionais, pois através de um SIG, os produtos gerados podem ser editados, atualizados, impressos e duplicados muito mais rápida e facilmente do que os gerados de forma tradicional, que normalmente implicam em um dispêndio de tempo e de trabalho manual cuidadoso para atingir o mesmo grau de precisão.

Segundo RAIA Jr. (2000), “Sistemas de Informações Geográficas são, portanto, ferramentas de extrema importância nas atividades de planejamento urbano e de transportes, proporcionando condições mais satisfatórias de visualização, entendimento, compreensão e tomada de decisões”.

O SIG deve contribuir para a dinamização das rotinas do setor de transporte e melhorar significativamente a atividade de planejamento urbano, permitindo uma avaliação mais precisa do desempenho da rede de transporte coletivo, fornecendo suporte ao gerente na tomada de decisão.

RODRIGUES (1997) afirma que “O mal crônico de projetos SIG é o descaso pela modelagem dos dados”, e que para a implantação de um SIG deve-se realizar a modelagem dos dados prévia e adequadamente.

Na literatura, grande parte dos trabalhos desenvolvidos em transporte coletivo e SIG não se preocuparam com a modelagem dos dados, como é o exemplo de NASSI et al. (1994), SIQUEIRA & CASSUNDÉ (1994), DANTAS et al. (1997), PRADO et al. (2005) e HENRIQUE & LOUREIRO (2005), dentre outros.

Os bancos de dados gerados sem planejamento, trazem consigo a probabilidade de problemas futuros na implantação e manutenção do sistema, quando se trata de ampliações e conseqüentes implementações, dificultando sua expansão e integração com os demais aplicativos.

O sucesso da implementação de um SIG depende da qualidade da abstração de entidades do mundo real e suas interações para uma base de dados informatizada. Essa abstração do mundo real é representada através da modelagem de dados (DAVIS Jr. & BORGES, 1994).

O propósito da modelagem do banco de dados é definir a forma de armazenamento dos dados espaciais e respectivos atributos em um banco de dados, de forma organizada, estabelecendo relacionamento entre eles, e evitando ambigüidade ou inconsistências, a fim de permitir a atualização simplificada e permanente, sistematizando o entendimento desenvolvido a respeito dos objetos e fenômenos do mundo real.

Um banco de dados bem modelado torna mais ágil a operacionalização dos aplicativos; facilita sua implantação, bem como, sua expansão, se necessário; permite acesso conveniente aos dados desejados e sua integração com bancos de dados implementados para outras aplicações; traz segurança, rapidez no acesso, fornece confiabilidade às informações obtidas e maior qualidade aos projetos desenvolvidos.

A aplicação da modelagem desenvolvida no presente trabalho será realizada em nível de projeto piloto na cidade de Bauru, utilizando a ferramenta SIG SPRING, que é um software de domínio público que atende às necessidades de base de dados integrada e trabalha, dentre outros, com o gerenciador de banco de dados relacional Access. Este software é considerado também de fácil aquisição, dispensando grandes investimentos por parte da administração pública para obtenção de informações georreferenciadas referentes ao transporte coletivo.

Estes aspectos, aliados às exigências cada vez maiores de passageiros quanto à necessidade de maiores informações sobre a atuação do transporte coletivo urbano, servem de estímulo para a modelagem de um banco de dados para fins de SIG, que poderá servir de exemplo e incentivo às demais administrações públicas.

1.3 Estrutura do trabalho

Para atender os objetivos propostos neste trabalho, a dissertação estrutura-se em 10 capítulos e um anexo.

No Capítulo 1 - Introdução, apresenta-se uma visão geral da dissertação. Através deste capítulo torna-se possível situar o problema em questão,

demonstrando em seguida os objetivos que se desejam alcançar, a justificativa e motivação para o desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 2 - O Transporte e a Cidade, encontra-se a revisão bibliográfica sobre a importância, gestão e a operação do Transporte Coletivo.

No Capítulo 3 - Sistema de Informações Geográficas, descreve-se sobre suas diversas aplicações e a importância do uso do SIG no Transporte Coletivo, destacando-se também as vantagens do uso da tecnologia SIG SPRING.

No Capítulo 4 - Banco de Dados, aborda-se os tipos de estruturas de banco de dados, banco de dados geográficos e alguns trabalhos existentes na literatura referentes a banco de dados geográficos em transportes.

No Capítulo 5 - Sistema Gerenciador de Banco de Dados, descreve-se alguns tipos de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBDs) e fundamenta-se o uso do SIG SPRING baseado no banco de dados relacional Access.

No Capítulo 6 - Modelagem dos Dados, encontra-se a revisão bibliográfica que fundamenta o desenvolvimento da modelagem. Descreve-se os modelos de dados e suas particularidades, e os níveis de abstrações utilizados em aplicações urbanas.

No Capítulo 7 - Método, apresenta-se as etapas da metodologia utilizada para a construção do modelo de dados.

No Capítulo 8 - Aplicação do Método, detalha-se as características do objeto de estudo, apresenta-se o Modelo Conceitual de Dados para Transporte Coletivo utilizando a metodologia descrita no capítulo anterior e a aplicação do modelo desenvolvido em um projeto piloto.

No Capítulo 9 - Conclusões, apresenta-se as conclusões obtidas com o desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 10 - Referências, relaciona-se as referências bibliográficas das literaturas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

No Anexo consta a descrição dos atributos das classes referentes ao Transporte Coletivo demonstradas na modelagem.

2 O TRANSPORTE E A CIDADE

2.1 O Transporte como indutor do surgimento das cidades

A história do desenvolvimento urbano está diretamente relacionada à evolução dos meios de transporte. Os meios de transporte disponíveis exerceram grande influência na localização, no tamanho e nas características das cidades, bem como nos hábitos da população (FERRAZ & TORRES, 2004).

As rotas de transporte sempre tiveram grande influência na localização das cidades, pois a facilidade de comunicação é fator determinante na qualidade de vida e no progresso dos aglomerados humanos. O uso do solo urbano sofreu a influência do tipo de transporte, pois quando o transporte era feito a pé ou utilizando animais, as cidades eram compactas e bastante densas, devido à impossibilidade do deslocamento confortável em distâncias maiores (FERRAZ, 1998a).

Segundo FERRAZ & TORRES (2004), outros dois fatores que condicionavam o tamanho das cidades no passado eram a capacidade de obtenção de suprimentos e a distância máxima que as pessoas podiam vencer a pé para trabalhar e realizar outras atividades inerentes à vida urbana.

O desenvolvimento dos outros meios de transporte (ferroviário, inicialmente, e depois rodoviário e aéreo) é que, em grande proporção, contribuiu para o surgimento das cidades situadas distantes das rotas navegáveis importantes.

Quando o bonde era o meio de transporte preponderante, as cidades cresciam ao longo de suas linhas, pois maior facilidade de acesso é sinônimo de melhor qualidade de vida. Conforme evoluíam os meios de transporte, aumentava a possibilidade de crescimento das cidades devido à facilidade de se trocar informações e produtos com outras localidades (FERRAZ, 1998a).

Com o surgimento dos ônibus e dos automóveis as cidades puderam crescer ainda muito mais, com uma densidade mais uniforme, provocando mudanças na forma de ocupação e uso do solo.

FERRAZ (1998a) afirma que “se é verdade que o tamanho e o uso do solo nas cidades é fortemente influenciado pelos meios de transporte disponíveis, também vale a recíproca: o tamanho e o uso do solo urbano determinam o modo de locomoção”, visto o que acontece com as cidades pequenas em que a locomoção é feita quase que exclusivamente a pé.

2.2 Importância do Transporte Coletivo

Considerando-se que cerca de 80% da população brasileira vive nas cidades, pode-se avaliar a importância do equacionamento adequado da questão do transporte urbano no mundo, pois a qualidade desse transporte afeta a qualidade de vida da grande maioria da população (FERRAZ, 1999).

É importante lembrar que existem 200 milhões de deslocamentos por dia nas cidades brasileiras, onde 44% das viagens correspondem ao transporte não motorizado e 56% correspondem a viagens realizadas por meios motorizados (ANTP, 2002).

Da fatia de deslocamentos pertencente às viagens motorizadas, o transporte público é responsável por cerca de 60% das viagens. Das viagens motorizadas pertencentes ao transporte público, os ônibus são responsáveis por efetuar 94% dos deslocamentos, enquanto que metrô e trens transportam apenas cerca de 5%, deixando o restante para barcas (ANTP, 2002).

As cidades, com o seu crescimento desordenado e com o espraiamento dos locais de trabalho, moradia, escola, lazer e demais atividades, induzem as pessoas a constantes movimentos, de um lado para outro dentro do tecido urbano, utilizando-se das vias e do sistema de transporte, fazendo com que o transporte urbano nas cidades brasileiras torne-se cada vez mais importante (GEIPOT, 1996).

Segundo FERRAZ, RAIA Jr., KFOURI (1998), o transporte público coletivo é um serviço essencial nas cidades, principalmente tendo em vista o seu aspecto social e democrático, uma vez que o transporte público representa o único modo motorizado seguro e cômodo acessível às pessoas de baixa renda.

É que o transporte público democratiza a mobilidade, na medida em que facilita a locomoção daqueles que não podem dirigir (crianças, adolescentes, idosos, deficientes, doentes, etc.), preferem não dirigir ou não possuem automóvel.

O transporte coletivo urbano também tem a função de proporcionar uma alternativa de transporte em substituição ao automóvel, visando à melhoria da qualidade de vida da comunidade mediante a redução da poluição ambiental, congestionamentos, acidentes de trânsito, necessidade de investimentos em obras viárias caras, consumo desordenado de energia, dentre outros, permitindo a alocação de recursos em setores de maior relevância social e uma utilização mais racional e humana do solo urbano (FERRAZ, RAIA Jr., KFOURI, 1998).

Segundo FERRAZ & TORRES (2004), o transporte urbano é tão importante para a qualidade de vida da população, quanto os serviços de abastecimento de água, coleta de esgoto, fornecimento de energia elétrica, iluminação pública, etc.

E ainda que, o transporte público urbano é imprescindível para a vitalidade econômica, a justiça social, a qualidade de vida e a eficiência das cidades modernas, pois tanto as atividades econômicas como as atividades sociais da maioria das cidades dependem do transporte público, ou por necessidade ou por preferência (FERRAZ & TORRES, 2004).

Para FERRAZ (1998b), “o reconhecimento da importância econômica e social do transporte público urbano tem levado inúmeras cidades a adotar medidas de priorização dos veículos de transporte coletivo no sistema viário”.

2.3 Gestão e Operação do Transporte Coletivo

Para ANTP (1997), “a gestão do transporte público corresponde às atividades de monitoramento do desempenho e controle da operação. Essas atividades são essenciais, pois o Poder Público, tendo a responsabilidade de garantir a provisão adequada do transporte público, é responsável também pela aferição da sua qualidade”.

A gestão torna-se cada vez mais necessária, tendo em vista o intenso processo de urbanização do país e de ampliação de seus sistemas de transporte urbano (ANTP, 1997).

Segundo FERRAZ & TORRES (2004), o transporte coletivo tem grande influência na qualidade de vida, na justiça social, na ocupação e uso do solo, nas atividades comerciais e na eficiência econômica das cidades, devendo, portanto, ser tratado em conjunto com o planejamento geral dos núcleos urbanos.

“Assim, as atividades de planejamento e gestão são vitais para garantir a qualidade e a eficiência do serviço de transporte público urbano, bem como o menor impacto negativo possível sobre o meio ambiente e o trânsito, a ocupação e o uso racional do solo, a fixação de valores justos para as tarifas: nem elevados, que prejudicam os usuários, nem baixos, que prejudicam a qualidade e a sustentabilidade econômica do sistema, etc.” (FERRAZ & TORRES, 2004).

3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - SIG

Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma tecnologia emergente e dinâmica que tem evoluído ao longo dos anos. Por esse motivo, as definições tanto para geoprocessamento quanto para SIG, ainda não estão consolidadas. Essas definições têm sofrido alterações devido às diferentes visões de seus pesquisadores e à diversidade de aplicações às quais elas se destinam. É uma tecnologia multidisciplinar, envolvendo as áreas de informática, engenharia, geografia, cartografia, ciências ambientais, entre outras, a qual tem adquirido um crescente progresso em função da evolução do conhecimento humano e a necessidade de se representar o mundo real.

Segundo BURROUGH (1989), o SIG pode ser definido como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, manipular e visualizar dados sobre o mundo real e é capaz de gerenciar dados geográficos, ou seja, dados que descrevem entes do mundo real em termos de sua posição (em relação a um sistema de referência espacial), geometria, relacionamentos espaciais (relações topológicas) e atributos.

Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados, que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre numa projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para um SIG. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas.

Dois fatores significativos influem na descrição do SIG: sua aplicação em diversas áreas e a consistência do conjunto de ferramentas que os profissionais

destas áreas usam para implementar seus trabalhos, aumentando a eficiência e a eficácia na geração de informações gráficas e descritivas (HUXHOLD, 1991).

“Em função desta amplitude de perfis de usuários, tipos de dados e necessidades das aplicações, o SIG também precisa prover aos usuários e projetistas de aplicações um conjunto adequado de funções de análise e manipulações dos dados geográficos” (CÂMARA et al., 1996).

A informática é a ferramenta que auxilia nas diversas etapas de concepção, armazenamento, apresentação, manutenção e consulta de dados espaciais, reduzindo custos, esforços e tempo envolvidos nestes processos, principalmente quando se refere ao grande volume de dados.

Para ANTENUCCI et al. (1991), os Sistemas de Informações Geográficas surgiram da necessidade de integração de três aspectos distintos da tecnologia computacional: gerenciamento do banco de dados (dados gráficos e não gráficos); rotinas para manipulação, visualização e apresentação da representação gráfica dos dados; e algoritmos e técnicas que facilitaram as análises espaciais, conforme ilustrado na figura 1.

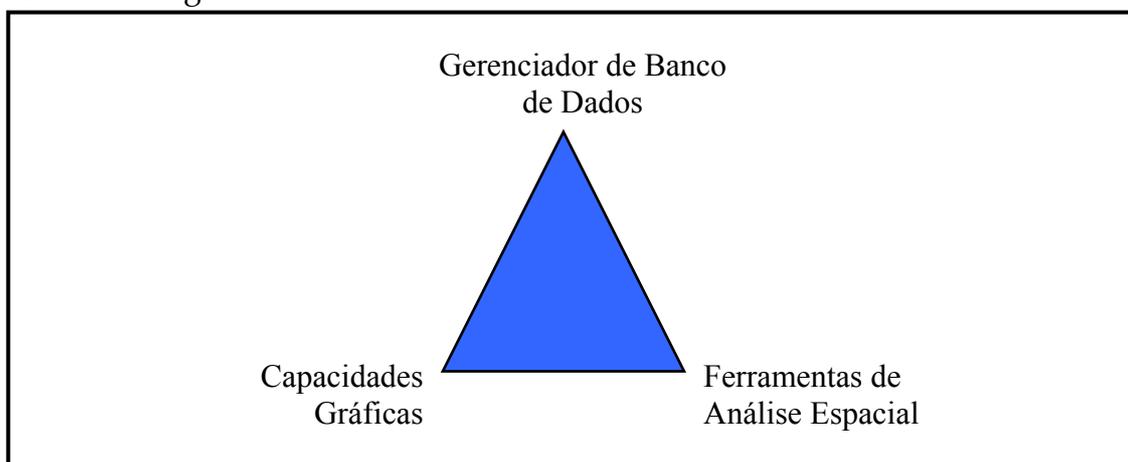


Figura 1 – Integração dos aspectos da tecnologia computacional
Fonte: ANTENUCCI (1991)

Atualmente, o SIG representa o resultado de mais de três décadas de pesquisa e desenvolvimento científico e as inúmeras inovações tecnológicas têm aumentado rapidamente sua taxa de adoção, após muitos anos de lento crescimento.

FERRARI (1997) afirma que um Sistema de informação Geográfica é considerado uma ferramenta de trabalho, um meio, e possui a finalidade de viabilizar projetos e facilitar o trabalho, provendo subsídios a tomada de decisões.

Para CÂMARA et al. (1996), Sistemas de Informações Geográficas são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar, manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação indispensável para analisá-la.

PAREDES (1994) ressalta que os SIGs significam muito mais que uma simples codificação, armazenamento e recuperação de dados espaciais. Geralmente, estes dados representam um modelo do mundo real, que permite realizar simulações com situações específicas, alguns dos quais não seriam possíveis no modelo real. Por isso é importante a capacidade de realidade e de transformação permitida pelos Sistemas de Informações Geográficas.

SIG é uma ferramenta gráfica e geográfica que permite associar dados quantitativos e espaciais de diversas áreas em uma única base, a fim de produzir novas informações passíveis de atualização e rápida interpretação.

Com a utilização desta ferramenta, os atributos são conectados a um mapa ou elemento gráfico através de um identificador comum, os geocódigos, identificadores geográficos que são índices espaciais com coordenadas que identificam pontos, linhas ou áreas, isto é, localizam automaticamente endereços.

O SIG tem demonstrado ser uma ferramenta de integração dos dados gráficos, contidos no mapa digitalizado da cidade, com o banco de dados que contém os atributos do objeto espacial, facilitando sobremaneira as atividades de planejamento, projeto, operação e monitoração da base de dados com a rapidez necessária.

PAREDES (1994) afirma que o potencial do SIG está na união da informação espacial com a descritiva e em manter o relacionamento entre as entidades do mapa.

3.1 Aplicações do SIG

Segundo CÂMARA et al. (1996), “O domínio de aplicações em SIG está se ampliando cada vez mais, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta e as facilidades computacionais em geral. Um fenômeno geográfico pode ser analisado de diferentes precisões dependendo do objetivo da aplicação. Assim sendo, um mesmo conjunto de dados armazenados poderá ter tratamentos distintos”.

Devido à abrangência dos Sistemas de Informações Geográficas, suas aplicações podem ser encontradas em diversos setores. Na literatura, encontra-se aplicações nas áreas de educação, saúde, transportes, tráfego, segurança pública, tributação, infra-estrutura urbana, planejamento, ambiental, socioeconômica, e também as aplicações realizadas pelas prestadoras de serviços, como as referentes às redes de energia elétrica, abastecimento de água, esgotamento sanitário e telecomunicações, dentre outras.

MAGUIRE et al. (1991) classificam as aplicações em: socioeconômicas, referentes ao uso da terra, ocupação humana e atividades econômicas; ambientais, enfocando o meio ambiente e o uso de recursos naturais, como informações de solos, mudanças globais do clima, da fauna, flora e recursos naturais; e de gerenciamento, envolvendo a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar recursos para remediar problemas ou garantir a preservação de determinadas características, como planejamento de tráfego e transporte urbano, planejamento e controle das obras públicas e planejamento da defesa civil.

A natureza de uma aplicação poderá permitir sua classificação aplicando-se uma determinada escala, como para as aplicações socioeconômicas, que são geralmente voltadas para grandes escalas (1:200 a 1:20.000), ocupam-se de problemas pontuais; já as aplicações ambientais, que são em geral relacionadas a problemas em escalas menores (1:20.000 ou em menores), tratam de problemas regionais resultando em conseqüente perda de precisão de medida. Em alguns casos, torna-se difícil determinar a classe de uma aplicação, indefinindo conseqüentemente a escala a ser utilizada (CÂMARA et al., 1996).

As regras de escalas, das fontes e das precisões dos dados devem ser observadas, porém devem ser analisadas conforme o grau de estudo e as necessidades em questão, pois a escala a ser adotada deverá possibilitar a visão global da área e permitir integrar e relacionar dados de diferentes naturezas para estudar a área como um todo.

As definições de SIG refletem, em suas diversas abordagens, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar duas importantes características de SIG: primeiro a possibilidade de integração em uma única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas, e segundo, o SIG oferece mecanismos para recuperar, manipular e visualizar dados, através de algoritmos de manipulação e análise (CÂMARA, et al., 1996).

3.2 Sistemas de Informações Geográficas no Transporte

Segundo ANTENUCCI et al. (1991), um dos primeiros projetos que vinculou os resultados de análises com mapas, de forma a facilitar a sua compreensão (praticamente uma versão preliminar dos atuais SIG), foi justamente um trabalho na área de transportes, desenvolvido em Detroit - USA, em 1955. Naquele projeto foi desenvolvida uma saída gráfica para o programa de computador, através da qual, os fluxos resultantes das análises eram representados por linhas de diferentes espessuras.

Os Sistemas de Informações Geográficas permitem manusear, atualizar, alterar, ou acrescentar outras informações, ou ainda trabalhar com parte dos dados, em função do problema em questão. Isso parece funcionar muito bem para as informações tipicamente necessárias para alimentar modelos de transportes, que segundo KAGAN et al. (1992) são:

-
- Dados socioeconômicos e demográficos de população (habitantes, empregos, renda, produção industrial e agrícola etc.);
 - Dados sobre características de uso e ocupação de solo;
 - Dados descrevendo a oferta de transportes;
 - Dados sobre a demanda por transporte.

Tanto os métodos tradicionais como os Sistemas de Informação Geográfica conjugados a esses modelos permitem gerar alternativas para a solução de problemas de transportes, simulando inclusive o comportamento do tráfego.

ZUPPO et al. (1996) afirmam que o SIG tem demonstrado ser uma ferramenta de integração de banco de dados informatizados e de visualização de informações, facilitando sobremaneira as atividades de planejamento, projeto, operação e monitoração dos sistemas de transporte e trânsito.

Dentre as vantagens da utilização do SIG no transporte tem-se:

- A integridade e confiabilidade dos dados;
- A facilidade de realização de consulta a um banco de dados georreferenciados;
- A simplicidade do traçado do transporte coletivo;
- A visualização dos dados referentes aos objetos geográficos inseridos em escalas diferentes;
- A centralização dos dados referentes a um mesmo objeto ou área;
- A geração de cópias em diferentes escalas para a divulgação do material sob a forma de relatórios;
- A apresentação digital dos mapas atualizados, de qualquer área e em qualquer escala.

Assim, o emprego do SIG no transporte coletivo visa aumentar a produtividade em termos quantitativos e qualitativos, influenciando na redução dos

custos dos processos de atualização, na agilidade da criação de mapas temáticos, na rápida atualização do banco de dados e na melhoria da qualidade do serviço prestado, proporcionando o aumento da qualidade de vida do cidadão.

Segundo RAIA Jr. (2002), “a principal vantagem dos SIGs em relação aos métodos tradicionais é a rapidez e a flexibilidade, pois a utilização de um sistema automatizado oferece ao planejador e operador, administrador público ou engenheiro de transportes, novos conceitos para a representação gráfica e manipulação dos dados”.

Nos últimos anos, é crescente o uso de SIG em questões de transportes, não só no âmbito acadêmico, como também em órgãos e empresas públicas (RAIA Jr., 2002).

3.3 SIG SPRING

A tecnologia SIG adotada na elaboração deste trabalho é o SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. O SPRING é um SIG no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais, desenvolvido e atualizado pela equipe da Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2002).

O modelo de dados do SIG SPRING está baseado no paradigma de orientação a objetos e visa a integração e análise de diferentes tipos de dados espaciais e a facilidade de uso do sistema (INPE, 2004b).

Algumas das características principais deste sistema segundo INPE (2004b), são:

- Opera como um banco de dados geográficos sem fronteiras e suporta grande volume de dados sem limitações de escala, projeção e fuso, mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo o banco;

-
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (raster) e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num Sistema de Informações Geográficas. Aprimora a integração de dados geográficos com a introdução explícita do conceito de objetos geográficos (entidades individuais), de mapas cadastrais, mapas de redes e campos;
 - Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseado em Álgebra), fornecendo ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos;
 - Consegue escalonabilidade completa, isto é, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes variando de microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho;
 - Adaptado à complexidade dos problemas ambientais, que requerem uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos, cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno.

Uma outra característica de suma importância é que o banco de dados é único, isto é, a estrutura de dados é a mesma quando o usuário trabalha em um computador pessoal (IBM-PC) ou em um computador denominado de estação de trabalho (Workstation), não havendo necessidade alguma de conversão de dados. O mesmo ocorre com a interface, a qual é exatamente a mesma em ambas as plataformas, de maneira que não existe diferença no modo de operar o produto SPRING.

Um banco de dados geográficos é composto de planos de informação, de objetos geográficos, e de informações não espaciais. Os planos de informação podem representar informações contínuas no espaço (campos), ou os objetos

geográficos individuais (discretos) e tratam os seguintes tipos de dados (INPE, 2004b):

- Mapas temáticos: cada informação representa um tema ou classe de informação;
- Mapas cadastrais ou mapas de objetos: ao contrário de um mapa temático, cada elemento é um objeto geográfico, que possui atributos e que pode estar associado a várias representações gráficas;
- Mapas de redes: correspondem a mapas cadastrais, com a diferença de que geralmente os objetos são representados por elementos lineares ou pontuais. As representações pontuais devem estar localizadas em pontos de intersecção de linhas na rede;
- Modelo numérico de terreno (ou MNT): denota a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, podem ser utilizados para modelar outros fenômenos de variação contínua;
- Imagens: representam dados de sensoriamento remoto ou fotografias aéreas digitais.

O SPRING não é simplesmente um sistema computacional projetado para fazer mapas. Embora ele possa criar mapas em diferentes escalas e projeções e com diferentes cores, ele é principalmente uma ferramenta de análise que auxilia na tomada de decisões.

O sistema armazena e recupera dados geográficos em suas diferentes geometrias, bem como as informações descritivas (atributos não espaciais), as quais são armazenadas em tabelas do Sistema Gerenciador de Banco de Dados.

Para alcançar esses objetivos, o SPRING é baseado num modelo de dados, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para, indexação espacial segmentação de

imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

Baseados nessas características, o SPRING tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois é um software de domínio público, podendo ser adquirido pela internet (INPE, 2004a).

4 BANCO DE DADOS

Um banco de dados é um permanente repositório auto-descritivo de dados armazenados em um ou mais arquivos. Um banco de dados contém as estruturas de dados ou esquemas (descrição de dados), bem como os próprios dados (BLAHA & PREMERLANI, 1998).

Trata-se de um acervo de informações armazenadas conforme determinados critérios de organização (KERN, 1994); é um conjunto de informações relacionadas entre si, sobre um determinado assunto ou entidade que é armazenado em meio magnético.

MARTIN (1994) afirma que um banco de dados tradicional armazena dados de forma independente dos processos e proporciona uma interface com o aplicativo, livre das questões de implementações.

Um banco de dados é uma coleção organizada de elementos de dados inter-relacionados que podem ser acessados de maneira compartilhada por aplicações e/ou usuários (ELMASRI & NAVATHE, 1994).

Deve ficar claro que qualquer sistema de computação, por mais simples que seja, precisa armazenar dados de forma organizada e estruturada. Os dados não se encontram isolados uns dos outros, existe uma ampla gama de dados que se referem aos relacionamentos existentes entre os mesmos, que passam pelos processos de recuperação, manipulação, análise e, novamente a armazenagem dos mesmos.

CAMARGO (1997) descreve algumas vantagens na utilização de sistema de armazenamento e recuperação de dados informatizados sobre sistemas convencionais:

-
- Capacidade de manipulação de um volume de dados muito maior, com eficiência;
 - Maior capacidade de garantir a qualidade dos dados armazenados;
 - Capacidade de relacionar e integrar os dados de diferentes fontes;
 - Maior rapidez e flexibilidade na recuperação dos dados;
 - Maior variedade nas formas de apresentação.

CHEN (1990) assegura que em muitas organizações o gerenciamento de dados representa uma das atividades mais importantes, pois atualmente caminha-se para uma sociedade cada vez mais orientada para a informação. Assim, a determinação de como organizar os dados para maximizar sua utilidade torna-se um problema de fundamental importância.

A tecnologia de banco de dados tem se desenvolvido no decorrer dos anos e novas implementações têm se incorporado aos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBDs) para aumentar a segurança e facilidade no seu uso (RIBEIRO, 2003).

O objetivo de um sistema de banco de dados é simplificar e facilitar o acesso aos dados, e o seu desempenho depende da eficiência das estruturas usadas para a representação dos dados, e o quanto esse sistema está apto a operar as estruturas de dados definidas (SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN, 1999).

Para compreender as definições designadas a um Banco de Dados, faz-se necessário explicitar alguns conceitos: dado, informação, informação geográfica e sistemas de informação.

4.1 Dado, Informação, Informação Geográfica e Sistemas de Informação

Para PAREDES (1994), *dado* é um conjunto de fatos ou valores medidos, sejam eles numéricos ou não, que não possuem significado próprio e que, *informação* é o conjunto de dados organizados com significado direcionado a certa aplicação.

Dado espacial é qualquer tipo de dado que descreve fenômenos, aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. *Dados geográficos* ou *georreferenciados* são dados espaciais em que a dimensão espacial está associada a sua localização na superfície da terra, num determinado instante ou período de tempo (CÂMARA et al., 1996).

Segundo PAREDES (1994), a *informação* é definida quando se atribui um significado ao dado. Os dados coletados de diferentes fontes, quando agregados, organizados e referenciados também constituem a informação de acordo com Rosovelt, citado por PAREDES (1994).

Assim, a informação é o resultado obtido da lapidação dos dados. A partir do momento em que os dados são organizados, manipulados e integrados para uma finalidade específica, se obtêm a produção de novas informações.

Os dados sem a devida manipulação, na maioria dos casos, não são elementos úteis para dar suporte à tomada de decisão ou planejamentos estratégicos. Já, a informação torna-se elemento fundamental a esses processos (SILVA, 2000).

Segundo PAREDES (1994), *informação geográfica* é o conjunto de dados (físicos e sociais), cujo significado possui associações ou relações com uma localização específica.

OLIVEIRA (1996), afirma que *sistema* “é o conjunto de partes interagentes e interdependentes que, conjuntamente, formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função”. O autor comenta que um sistema possui alguns componentes básicos: objetivos, entradas, processo de transformação, saídas, controles e avaliações e retroalimentação ou *feedback* (figura 2).

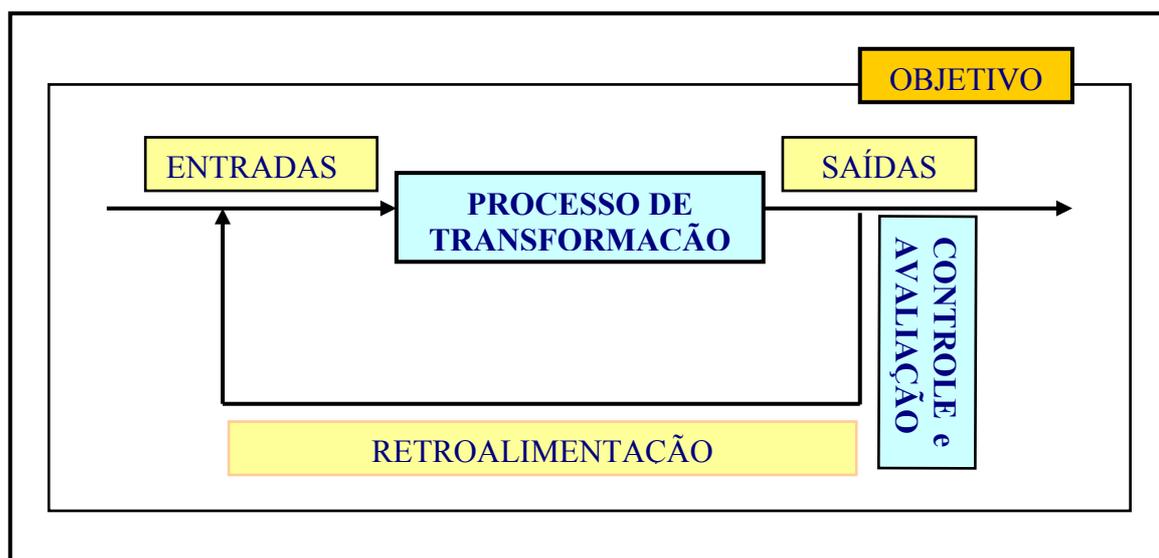


Figura 2 - Componentes de um sistema
 Fonte: OLIVEIRA (1996)

Conforme apresentado na figura 2, os objetivos consistem em atender às necessidades do usuário ou do próprio sistema. As entradas são os dados que alimentarão o sistema e, através do processo de transformação, acontece a interação entre os dados com o propósito de produzir as saídas desejadas – as entradas são transformadas em produtos ou resultados, determinando as saídas do sistema. Essas saídas correspondem às finalidades para as quais o sistema foi criado e devem estar coerentes com os objetivos estabelecidos anteriormente.

O controle e avaliação existem para verificar se as saídas estão de acordo com os objetivos estabelecidos. A retroalimentação é a reintrodução de uma saída sob a forma de dados. É o instrumento de controle onde os dados realimentados são resultantes das divergências observadas entre as respostas e os parâmetros previamente estabelecidos. O principal objetivo desse controle é minimizar discrepâncias e propiciar uma situação em que o sistema torne-se auto-regulador (OLIVEIRA, 1996).

A função de um *sistema de informação* é transformar os dados em informação e prove-la para o usuário, fornecendo-lhe subsídios na execução ou

adoção de decisões seja na pesquisa, no planejamento e no gerenciamento (PAREDES, 1994).

Para DIAS (1991), a evolução do conceito de sistemas para o gerenciamento do meio físico norteou-se pela seguinte seqüência: sistema tradicional, utilizado até 1975; sistema de informática, ainda vigente, e Sistemas de Informações Geográficas, a partir de 1985, seguindo o fundamento de que os SIGs tratam duas grandes naturezas: a informação descritiva ou alfanumérica e a informação gráfica ou geométrica, conforme ilustrado na figura 3.

O autor ainda comenta que *sistema de informação* significa o agrupamento de rotinas que permite a entrada, armazenamento, processamento, manutenção, análise e apresentação de informações, que deve auxiliar a administração; tornando-a capacitada a alcançar seus objetivos pelo uso imparcial dos recursos disponíveis, dentre eles, materiais, equipamentos, tecnologia, pessoas e capital financeiro.

A eficiência em um sistema de informação consiste em permitir a sua interação com todo o ambiente com o qual se relaciona utilizando a troca de informações, a qual auxilia o processo de tomada de decisão, subsidiando o gerenciamento de uma organização.

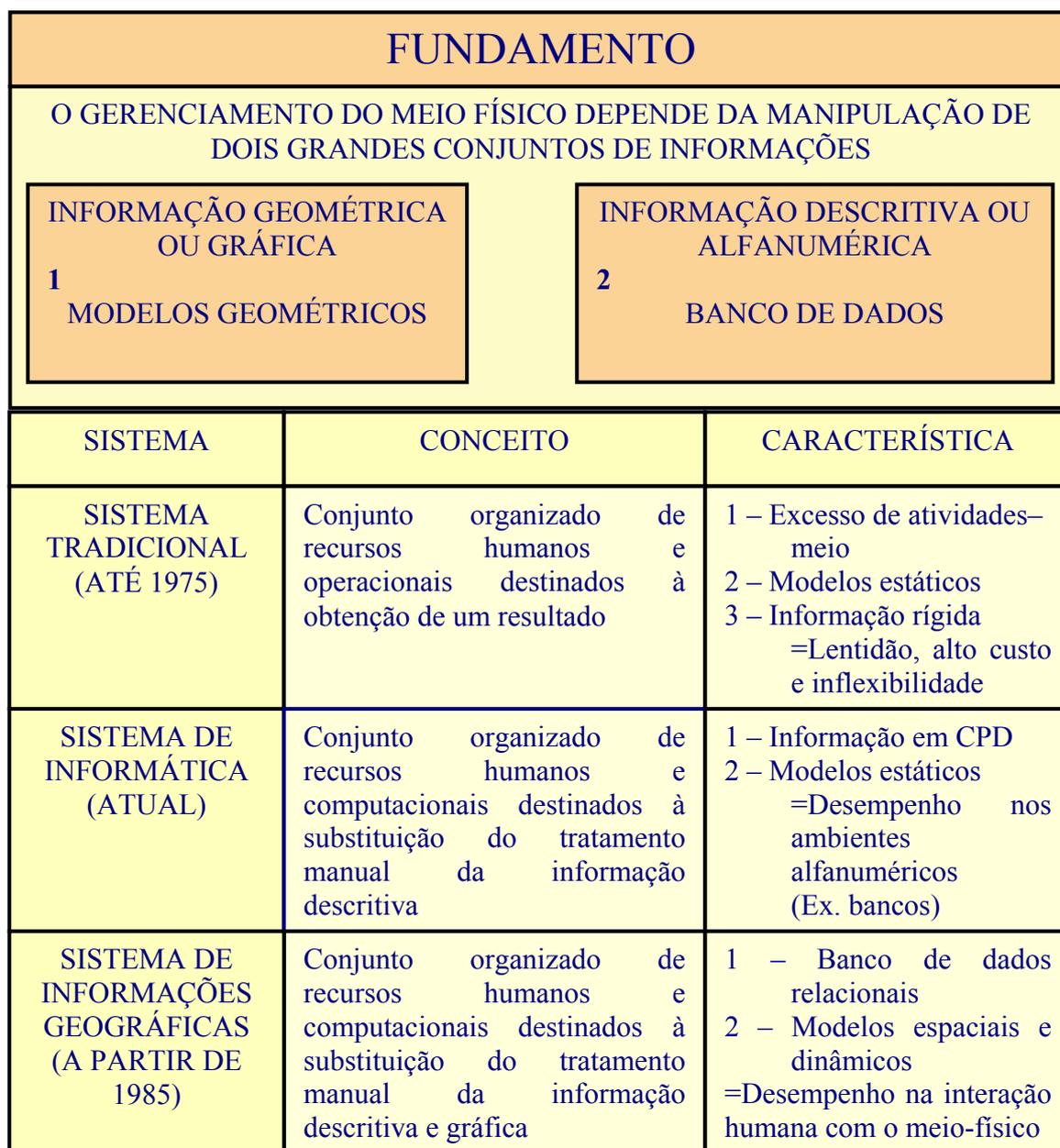


Figura 3 – Evolução conceitual de Sistema para o gerenciamento do meio Físico
 Fonte: DIAS (1991)

4.2 Do Dado à Informação Geográfica

O fluxo dos dados no processo de conversão de dados geográficos em informações geográficas e a posterior utilização destas informações na geração de ações de controle, este pode ser decomposto em várias etapas distintas, conforme ilustrado na figura 4.

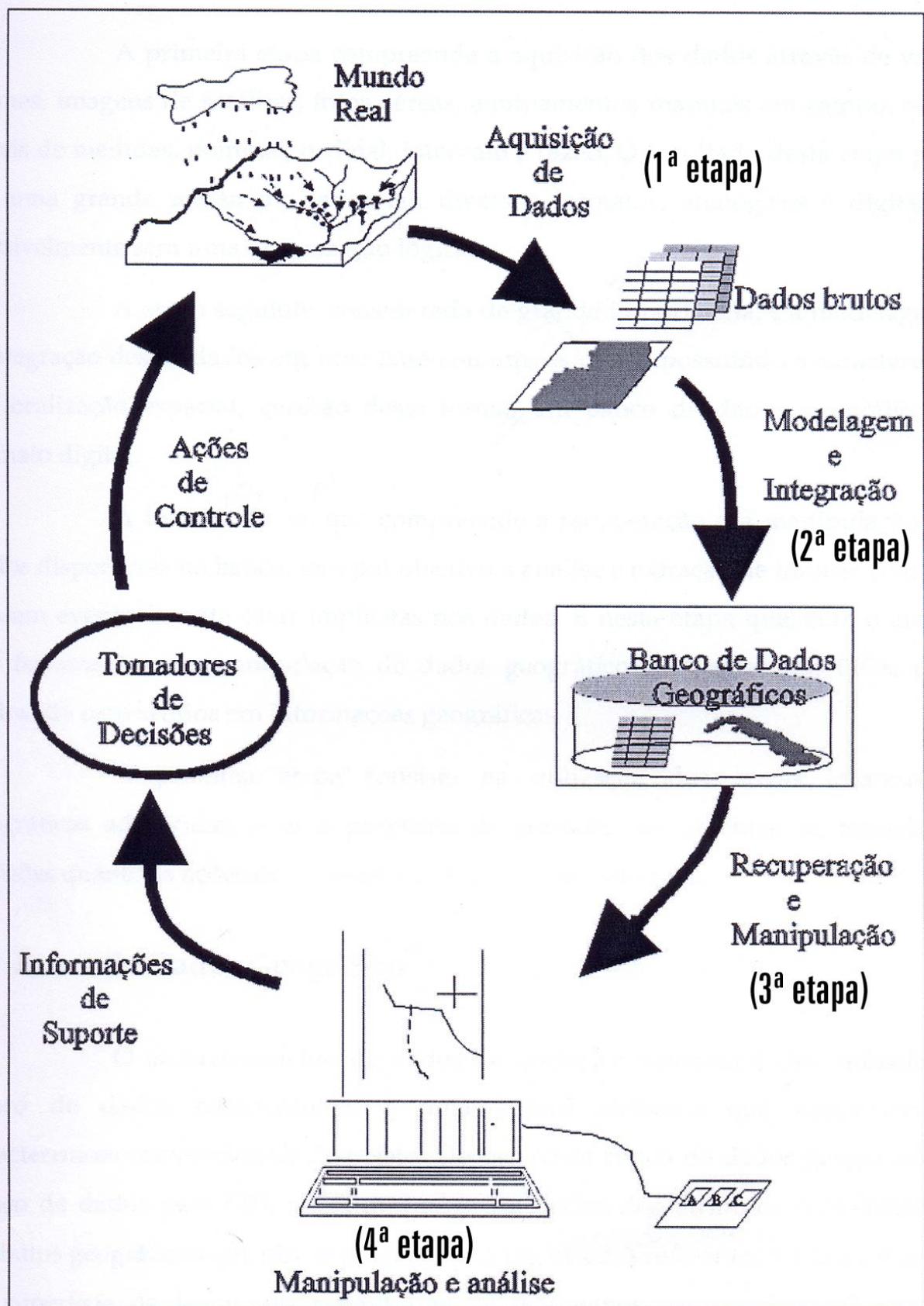


Figura 4 - Ciclo de extração e utilização de informações
 Fonte: adaptada de ARONOFF (1989)

A primeira etapa compreende a aquisição dos dados através de várias formas, imagens de satélites, fotos aéreas, equipamentos manuais em campo, etc., e níveis de medidas, nominal, ordinal, intervalo e razão. O resultado desta etapa pode ser uma grande massa de dados em diversos formatos, analógicos e digitais, e possivelmente sem uma organização lógica.

A segunda etapa, considerada de grande importância, é a modelagem e a integração destes dados em uma base comum. Os dados possuindo a característica de localização espacial gerarão desta forma, um banco de dados geográficos em formato digital.

A terceira etapa, que compreende a recuperação e a manipulação dos dados disponíveis no banco, tem por objetivo a análise e extração de informações que possam eventualmente estar implícitas nos dados. É nesta etapa que, com o auxílio das ferramentas de manipulação de dados geográficos presentes nos SIGs, estes dados são convertidos em informações geográficas.

A quarta etapa, consiste na utilização das novas informações geográficas adquiridas, com o propósito de subsidiar os gerentes na tomada de decisões quanto às ações de controle incidentes no mundo real.

4.3 Banco de Dados Geográficos

O armazenamento de dados de qualquer natureza é denominado de banco de dados convencionais, o qual possui atributos que descrevem as características convencionais do objeto. Denomina-se banco de dados geográficos ou banco de dados para SIG, o banco de dados que possui, além dos atributos convencionais, atributos geográficos que são as propriedades ou características associadas com a localização na superfície da terra; são repositórios de fenômenos do mundo real que são georreferenciados.

As feições do mundo real podem ser representadas nos sistemas de informações geográficas através de planos de dados relacionados, os quais podem ser divididos em dois grandes grupos. Um deles refere-se à forma e à posição das

ocorrências presentes em um terreno e o outro descreve quantitativamente tais ocorrências. O conjunto dessas informações compõe o banco de dados de um sistema de informações geográficas (RÖHM, 2002).

CÂMARA et al. (1996) definem banco de dados geográficos como um acervo da informação coletada empiricamente sobre os fenômenos do mundo real. A criação de um banco de dados geográficos exige várias etapas: coleta dos dados relativos aos fenômenos de interesse identificados na modelagem, correção dos dados coletados, e georreferenciamento desses dados.

Segundo INPE (2004a), o aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico que possui uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e dados descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional).

HUXHOLD (1991) afirma que um banco de dados compreende uma coleção de dados estruturados, geralmente armazenados em meio digital. O banco de dados de um SIG é composto por dois tipos básicos de dados, os gráficos e não gráficos:

- Gráficos - também denominados de localizacionais ou espaciais, são a representação de mapas analógicos na forma digital, que podem ser representados em três formas de notações básicas: pontos, linhas e polígonos.
- Não gráficos - também denominados de não localizacionais ou descritivos, representam as características dos dados localizacionais, suas qualidades e os atributos das feições que compõem o mapa.

O SIG mantém relações entre os dados gráficos e os não gráficos. O método mais comum de associar ambos os dados é armazenar identificadores ou chaves de ligação simultaneamente com cada conjunto de elementos gráficos e não gráficos (ANTENUCCI et al., 1991).

Para SILVA (2002), o banco de dados é responsável por grande parte da implementação de um SIG, e deve-se dar especial atenção a ele quanto aos aspectos de manipulação e gerenciamento de dados.

4.4 Banco de Dados Georreferenciados em Transportes

Projetos SIGs ignoram as questões de abrangência da concepção e da implantação. Por um lado, têm-se os projetos ambiciosos, que contemplam a variedade das aplicações possíveis e caminham para todas as implantações concomitantes em curto prazo. Em um outro extremo, há projetos que, pragmáticos em excesso, contemplam a implantação rápida de capacidade operacional. Esses SIGs, ao não darem a devida importância as fases essenciais de um projeto, como a modelagem de dados, comprometem o desenvolvimento futuro do projeto (RODRIGUES, 1997).

Na literatura, encontram-se trabalhos que se referem à criação de banco de dados geográficos para transporte, utilizando SIG e SGBD, todavia verifica-se a desconsideração existente quanto à modelagem dos dados. Esses trabalhos não levam em consideração a interface futura dos dados atuais com os dados vindouros, que não refletem os entes e relacionamentos dos dados de maneira a permitir uma visão holística do espaço em questão, como os descritos a seguir.

Pode-se citar o SIG realizado na Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo - EMTU, onde se estruturou um banco de dados geográficos para atender às necessidades de auxílio no planejamento do transporte urbano, porém o trabalho não relata o modelo de dados utilizado quando da criação do banco de dados (RAMOS et al., 1999).

NASSI et al. (1994), ao desenvolver seu trabalho para atender aos problemas de transporte público para municípios, tiveram por objetivo agilizar as consultas aos dados, torná-las mais confiáveis e produzir imagens com informações espaciais. No entanto, na concepção do banco de dados para atender seus objetivos, não houve a preocupação com a modelagem dos dados.

O projeto de SIG em transportes desenvolvido por DANTAS et al. (1997), ressalta e diferencia as aplicações com uma abordagem sob o enfoque de gerar novas informações através da análise espacial. Em sua metodologia, uma das etapas, consiste na criação do banco de dados relacional para inserção dos dados coletados, porém, na descrição das etapas não apresenta a realização da modelagem para a definição das entidades e seus relacionamentos.

SIQUEIRA & CASSUNDÉ (1994) citam a criação de um banco de dados para atender às necessidades atuais da EMTU - Recife, e a pretensão de realizar a interface com os demais sistemas informatizados utilizados pela empresa. Porém, os autores não citam a realização da modelagem dos dados, onde poderia constar não só as definições das entidades e dos relacionamentos atuais, como demonstrar a possível interface com outros sistemas, de maneira a atender à funcionalidade desejada atual e futura.

SANTOS & FERREIRA (2004) desenvolveram uma modelagem de forma resumida, aplicada ao planejamento de trânsito e transportes utilizando a técnica de modelagem OMT-G e para sua implementação utilizaram as ferramentas AutoCAD MAP, MAPINFO e Access.

PRADO et al. (2005), com o objetivo de calcular a eficiência relativa das linhas do transporte público urbano, implementaram dados, para o Sistema de Informações Geográficas, referentes ao número de veículos e motorista, quilometragem rodada e viagens realizadas. Nesse trabalho, porém, não ficou clara a criação do banco de dados e a forma utilizada para a inserção dos mesmos e se os autores tiveram a iniciativa de estruturar o banco de dados, através da modelagem.

HENRIQUE & LOUREIRO (2005), com o propósito de caracterizar o comportamento da acessibilidade dos usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza (SIT-FOR), desenvolveram um banco de dados georreferenciados no software SIG TransCAD. Em suas análises utilizaram da seleção e manipulação dos dados, no entanto, em sua metodologia, não citaram a criação de um modelo para inserção e manipulação dos dados referentes a transporte.

CAETANO & GUALDA (2005), ao desenvolverem em sua pesquisa um sistema de informações de apoio ao usuário de um sistema de transporte coletivo, apresentam em sua metodologia a etapa de pesquisa sobre o projeto e arquitetura de sistemas e banco de dados. Embora nesta etapa os autores não identifiquem a modelagem de dados utilizada para a sua estruturação, nota-se a sua preocupação em projetar um banco de dados modular para possibilitar, se necessário, a criação de módulos adicionais.

Tem-se observado, em muitas aplicações revisadas, o descaso com a modelagem de dados, no entanto, cada vez mais se tem a necessidade de uma visão integrada do espaço modelado e de se representar e diferenciar os diversos tipos de dados envolvidos nas aplicações geográficas, seus relacionamentos e sua manutenção. Esse tipo de visão é obtido através da modelagem de dados, que dentre muitas vantagens, facilita a visualização e entendimento do sistema.

RODRIGUES (1997), quando em seu trabalho descreveu as constatações sobre o projeto SIG, citou alguns impactos que ocorrem em sua dinâmica e afirmou que existe um mal silencioso nesses projetos, que seria o não entendimento da exatidão, precisão, completeza e qualidade das questões. Os efeitos desta desconsideração inevitavelmente emergirão de forma dramática, quando do uso do sistema.

Especificou que, geralmente, em função da pressa existente em colocar o sistema para funcionar, provedores afoitos, induzem a alimentação dos dados nos bancos de dados sem a devida reflexão da abrangência do sistema, e qual seria a melhor estruturação dos dados a ser adotada, a qual, sem dúvida, poderia ser adquirida através do processo de modelagem dos dados. Declara que o descaso pela modelagem dos dados seria o grande mal crônico dos projetos de SIG (RODRIGUES, 1997).

Segundo RODRIGUES (1997), há um caminho bom. É pensar grande e implantar pequeno, ou seja, conceber e modelar um sistema abrangente imaginando o futuro. Desenvolver e implantar inicialmente pequenos componentes para os quais se dispõem de recursos e que terão resultados comprovados.

4.5 Estrutura de Banco de Dados

Os dados podem ser armazenados em diversos tipos de estruturas, que especificam tanto a estrutura lógica global do banco de dados como uma descrição em alto nível da implementação. A seguir, descrevem-se algumas estruturas de banco de dados utilizadas.

4.5.1 Arquivos Flat

Este modelo de estrutura precede o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados. É considerado um sistema de gerenciamento de arquivos, que executa tarefas como geração de relatórios e ordenação de arquivos; são projetados para servirem às aplicações específicas (KERN, 1994).

Sistemas de informações tradicionais utilizam esta estrutura, processando os dados de forma repetitiva. Os registros são compostos por número de campos idênticos (figura 5), que armazenam as informações de interesse. Um destes campos pode ser utilizado como chave de acesso ao conteúdo do registro ou para organizar o arquivo de acordo com uma ordem estabelecida. Possui desempenho e flexibilidade limitada (HUXHOLD, 1991).

No. da parcela	Endereço da Parcela	Qua	Distr	Set	Nome do prop. nº 1	Endereço do prop. nº 1	Nome do prop. nº 2	Endereço do prop. nº 2	Valor
008	501 N Sadowski St	1	A	101	Sadowski, M. G.	501 N Sadowski St			105450
009	590 N Sadowski St	2	B	101	Adams, Juliet	590 N Sadowski St	Adams, M	590 N Sadowski St	89780
036	1001 W Adnan Rd	4	B	105	Sadowski, M. G.	501 N Sadowski St			101500
075	1175 W Dadlez Dr	12	E	202	Kroeger, Ross	592 N Tierney Pl	Bertrnad, K	1087 W Bwertra Dr	98000

Figura 5 – Representação de arquivos flat
Fonte: HUXHOLD (1991)

4.5.2 Estrutura Hierárquica

SGBD baseados na estrutura hierárquica, foram os primeiros sistemas disponíveis comercialmente. Sua estrutura é composta por uma coleção de registros e ligações. Um registro é composto por coleção de campos ou atributos, onde cada um

dos campos contém apenas uma informação e uma ligação. É uma associação entre precisamente dois registros (KERN, 1994).

Na estrutura hierárquica, cada registro pode ter qualquer número de descendentes (filhos), mas apenas um ascendente (pai). O registro ascendente guarda referências do conjunto de descendentes que possui (KERN, 1994).

Este tipo de estrutura permite a relação entre os registros de 1:N ou um-para-muitos, através da associação de um registro denominado “mestre” com vários outros registros denominados “detalhes”, registros estes, que por sua vez, podem estar associados a outros registros detalhes (HUXHOLD, 1991).

A figura 6 ilustra uma estrutura hierárquica de arquivos contendo os dois tipos de registros: mestres – registros de proprietários e de detalhes – contém detalhes do proprietário, e suas respectivas ligações.

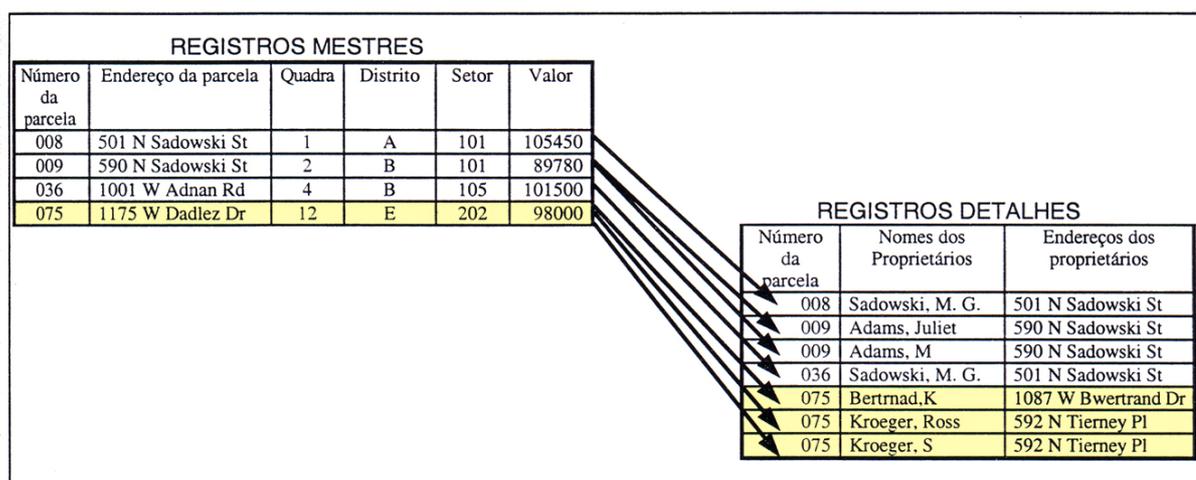


Figura 6 – Representação hierárquica de registros em um banco de dados
 Fonte: HUXHOLD (1991)

Segundo SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN (1999), em função da limitação de que cada registro pode ter apenas um ascendente, torna-se necessária a replicação de registros, o que resulta em uma estrutura não vantajosa em função do grande desperdício de espaço utilizado para armazenagem dos dados, podendo também gerar inconsistências no banco, quando da atualização.

4.5.3 Estrutura de Redes

Para DATE (2003), a estrutura de arquivos em redes pode ser considerada como uma forma estendida da estrutura hierárquica, a qual, segundo HUXHOLD (1991) surgiu em resposta às limitações do modelo hierárquico.

Segundo SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN (1999), um modelo de redes consiste numa coleção de registros que são conectados uns aos outros através de ligações que podem ser vistas como ponteiros. As ligações são implementadas adicionando-se campos de ponteiro aos registros que são associados via uma ligação. Cada registro deve ter um campo-ponteiro para cada ligação com a qual ele esteja associado.

Neste modelo um tipo de registro pode estar envolvido em mais de um relacionamento, pode ter vários ascendentes (pais) e vários descendentes (filhos) (KERN, 1994). A figura 7 representa um exemplo de arquivos estruturados em redes.

A diferença marcante entre a estrutura hierárquica e de redes, segundo BLAHA & PREMERLANI (1998), consiste exatamente que, enquanto na hierárquica um registro filho tem apenas um pai, na estrutura de rede um registro filho pode ter vários pais, ou nenhum.

HUXHOLD (1991) afirma que com a introdução de novos arquivos, os quais são associados aos já existentes, pode-se gerar redes complexas com muitas relações lógicas. Estas redes, devido a sua complexidade, dificultam a operação do sistema, pois o espaço exigido pelos apontadores pode ultrapassar o espaço necessário para a armazenagem dos dados propriamente ditos.

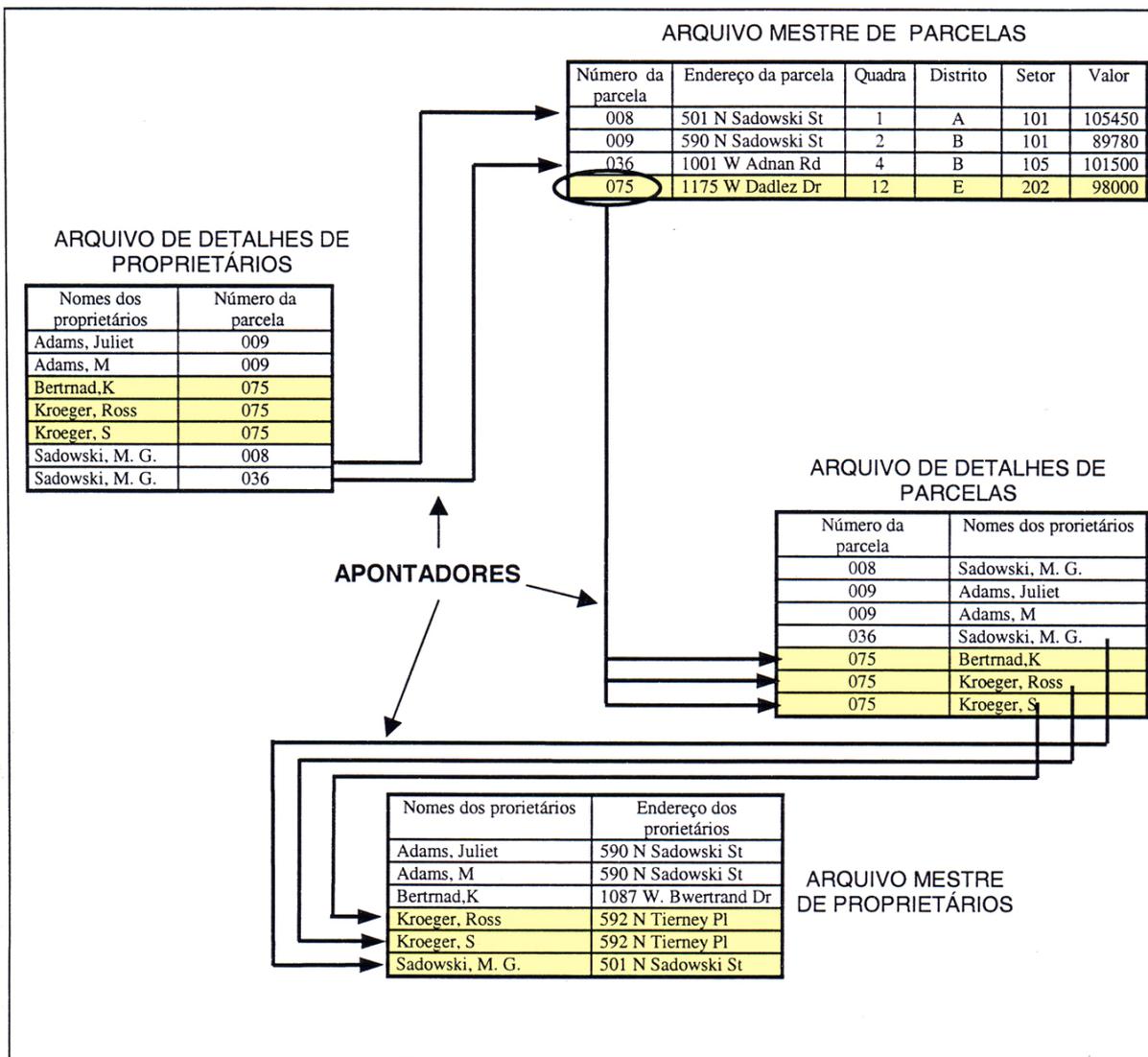


Figura 7 - Representação de arquivos de estrutura em redes
Fonte: HUXHOLD (1991)

4.5.4 Estrutura Relacional

O banco de dados relacional é baseado em estruturas de dados normalizadas, chamadas tabelas (figura 8). Ele representa uma coleção de tabelas, que podem ser armazenadas como arquivos; cada linha representa uma coleção de valores de dados relacionados, que interpretados descrevem uma entidade do mundo real ou um relacionamento. A definição dos nomes das tabelas e colunas interpreta o conteúdo dos valores em cada linha da tabela. Os dados referentes a uma coluna pertencem a uma mesma categoria de dados (ELMASRI & NAVATHE, 1994).

O fato dessa estrutura ser representada por um conjunto de tabelas faz a diferença em relação ao modelo de redes, que é um conjunto de registros e relacionamentos através de ligações (KERN, 1994).

Os bancos de dados que possuem estrutura relacional representam os primeiros sistemas de banco de dados a fornecer uma interface com o aplicativo, livre das questões de implementação, onde os dados passaram a ser independentes dos processos (MARTIN, 1994).

A estrutura relacional define três tipos de dados: a tabela ou relação; a linha ou tupla; e a coluna ou atributo; e especifica três operadores que atuam sobre as tabelas: seleção, projeção e junção. O modelo relacional provê várias vantagens significativas sobre os modelos anteriores (MARTIN, 1994):

- Independência dos dados – a representação interna dos dados é independente da interface do aplicativo e a representação física dos dados pode ser alterada sem afetar os aplicativos;
- Manipulação declarativa – o SGBD pode otimizar a forma de consulta, liberando dessa tarefa o programador;
- Remoção de redundâncias – quando projetado, o banco de dados é normalizado, economizando espaço de disco e eliminando a possibilidade de redundâncias, problemas estes encontrados nas estruturas hierárquicas e de redes;
- Simplicidade – facilidade no aprendizado devido aos conceitos básicos adotados;
- Tabelas como veículos de apresentação – o resultado de todos os operadores relacionais é uma tabela, facilitando a visualização.

As características descritas proporcionam um desenvolvimento de aplicativos mais rápido, e uma manutenção facilitada, o que explica a popularidade desse tipo de estrutura de banco de dados (MARTIN, 1994).

Segundo HUXHOLD (1991), a complexidade existente nas estruturas de redes e hierárquicas em função do grande número de ligações lógicas e apontadores

existentes, fica reduzida na estrutura relacional em função do processo de normalização, que consiste em regras desenvolvidas, denominadas formas normais, para evitar inconsistências lógicas das operações de atualização das tabelas.

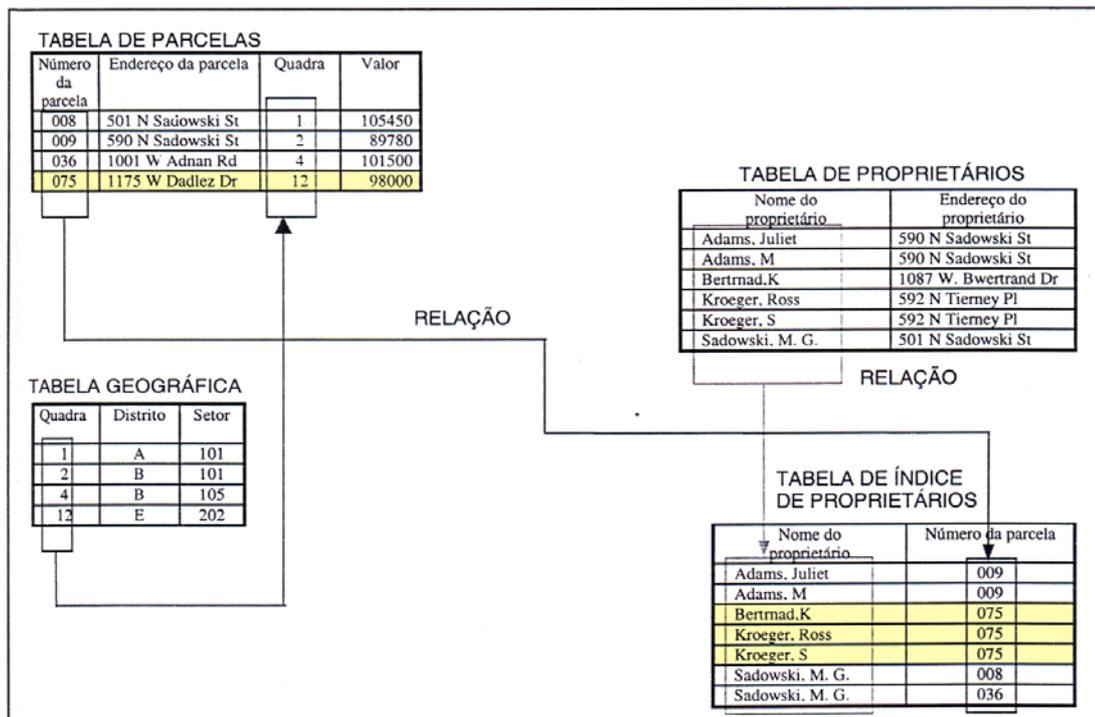


Figura 8 - Banco de Dados com estrutura relacional
Fonte: HUXHOLD (1991)

4.5.5 Estrutura Orientada a Objetos

Os bancos de dados baseados em objetos surgiram da necessidade de suportar a programação orientada a objetos e tornaram-se importantes para certos tipos de aplicações com dados complexos, ou específicos como CAD, e para manipular imagens, som, vídeo e textos não formatados. Esses bancos suportam diversos tipos de dados, e não apenas tabelas simples, colunas e linhas como os bancos de dados relacionais (MARTIN, 1994).

A estrutura orientada a objetos é um paradigma de programação que parte da idéia de que tudo no mundo real é objeto. Em relação ao paradigma da programação estruturada, onde dados e procedimentos estão dissociados, a principal diferença é que na orientação a objetos, os procedimentos fazem parte de um objeto,

da mesma forma que os dados. Esta característica é conhecida como encapsulamento, como ilustrado na figura 9 (KERN, 1994).

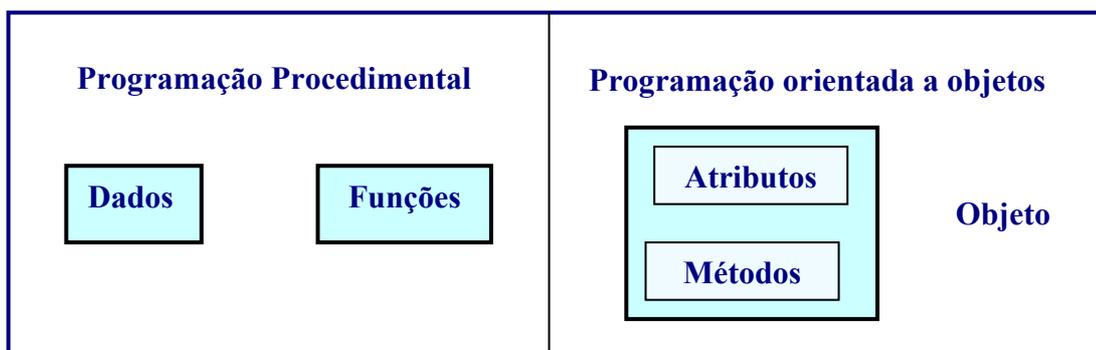


Figura 9 – Programação Estruturada x Orientada a objeto
Fonte: KERN (1994)

Atributos são os dados descritivos do objeto; métodos ou serviços são as funções que manipulam estes dados (KERN, 1994).

Segundo MARTIN (1994), esse tipo de estrutura orientada a objetos supera de longe, em desempenho, os bancos de dados relacionais, quando se trata de aplicativos com muita associação de dados, porém o autor afirma que os bancos de dados baseados em objetos não substituirão os bancos de dados relacionais, pois ambas as estruturas são importantes e atendem a necessidades distintas.

Um banco de dados baseados em objetos oferece vantagens como: maior desempenho da máquina na busca de informação com a utilização de ponteiros *soft*; permissão de diferentes mecanismos de armazenagem para diferentes tipos de dados e redução da redundância de dados e métodos. E a sua desvantagem é apresentada na complexidade da criação da estrutura do banco de dados (MARTIN, 1994).

5 SISTEMA GERENCIADOR DE BANCO DE DADOS - SGDB

Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBDs) são coleções de softwares que permitem que os usuários os criem e os mantenham, através de linguagem apropriada, facilitando os processos de definição (especificação dos tipos, estruturas e restrições para os dados que serão armazenados), de construção (armazenamento dos dados em um meio controlado por ele) e de manipulação (funções para recuperação ou alteração dos dados e geração de relatórios) do banco de dados (ELMASRI & NAVATHE, 1994).

De acordo com SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN (1999), a meta básica de um SGBD é proporcionar um ambiente conveniente e eficiente para recuperação e armazenamento de informações.

Segundo RUMBAUGH et al. (1994), a utilização de SGBD tem sido crescente devido às vantagens proporcionadas em seu uso, dentre as quais pode-se citar o compartilhamento entre aplicações e usuários, segurança, integridade, extensibilidade e distribuição dos dados.

O SGBD possibilita o armazenamento das informações de forma organizada, proporcionando integridade e consistência dos dados, segurança quanto ao acesso restrito, controle quanto à interação entre usuários simultâneos preservando a consistência dos dados, verificação de ocorrência de falhas no banco e devida recuperação através de procedimentos e backup (SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN, 1999).

MARTIN (1994) afirma que o conceito de SGBD combina várias idéias em um único sistema, e se baseia em um modelo de dados independente de qualquer aplicativo. Com o SGBD, a atividade mais importante tornou-se o projeto de dados, causando um redirecionamento fundamental do paradigma de desenvolvimentos, que passou a adotar um modelo baseado em dados.

O banco de dados é um recurso valioso na maioria das organizações devido à importância da informação, o que tem induzido ao desenvolvimento de uma larga gama de conceitos e técnicas para o eficiente gerenciamento desses dados (SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN, 1999).

Segundo KERN (1994), o tratamento da informação a partir de um banco de dados, dá ao sistema algumas vantagens:

- A disponibilidade dos dados para consulta, alteração ou exclusão pode ser autorizada pelo administrador de banco de dados quando se tratar de projeto, mesmo antes das aplicações serem desenvolvidas, favorecendo a segurança e privacidade dos dados;
- Um projeto de banco de dados coerente reduz ou elimina a redundância e favorece a manutenção da integridade dos dados, que traduz a consistência das informações;
- A padronização é reforçada. Os tipos de dados mais importantes são atributos que têm seus nomes e tamanhos definidos já no projeto do banco;
- Os dados dizem respeito a um ambiente, empresa ou corporação e estão disponíveis independentemente da aplicação;
- Devido a esta independência dos dados e a padronização, a manutenção das aplicações fica facilitada.

A arquitetura de um SGBD é estabelecida a partir de um modelo de dados, que é uma forma de representação resultante de uma abstração. O projeto de um banco de dados envolve o desenvolvimento de um modelo formal relativo à estruturação dos dados (KERN, 1994).

Portanto para a estruturação de um banco de dados para fins de implantação de SIG, é imprescindível o uso de um sistema gerenciador de banco de dados, pois o SIG deverá ser capaz de processar uma grande variedade de dados provenientes das mais diversas fontes, dados armazenados em departamentos ou

setores distintos, o que exigirá do administrador do SIG procedimentos para integrar todos esses bancos de dados.

O conceito de SGBD combina várias idéias em um único sistema. Os SGBDs se baseiam em um modelo de dados independente de qualquer aplicativo em particular. Existem vários gerenciadores de bancos de dados relacionais como MySQL, Oracle, Access, dentre muitos outros (KERN, 1994).

5.1 MySQL

O MySQL é um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) considerado confiável e de fácil uso, que utiliza a linguagem SQL (Structured Query Language - Linguagem de Consulta Estruturada) como interface (MySQL, 2006).

Este gerenciador possui código aberto e oferece um rico e proveitoso conjunto de funções. A sua conectividade, velocidade, e segurança fazem com que seja altamente adaptável para acessar bancos de dados na Internet (MySQL, 2006).

O MySQL é reconhecido pelo seu desempenho e robustez e também por ser multi-tarefa e multi-usuário (MySQL, 2006).

5.2 Oracle

Basicamente, os mecanismos de execução do Oracle são as estruturas de memória e os processos executados em *background*. Todas as vezes que um banco de dados é inicializado, uma *System Global Area* ou Área Global do Sistema (SGA) é alocada e os processos são inicializados (FERREIRA, 2006).

A combinação das estruturas de memória na SGA e dos processos em *background* é chamada de instância Oracle.

A SGA é um conjunto de *buffers* de memória compartilhados que são destinados pelo Oracle para uma instância.

Os processos em *background* executam tarefas distintas assincronicamente em benefício a todos os usuários de um banco de dados.

A base é a linguagem *Structured Query Language* (SQL), que é uma linguagem de consulta padronizada. Através desta sintaxe é possível criar, modificar e manipular as estruturas de dados criadas no Oracle (FERREIRA, 2006).

5.3 Microsoft Access

O Microsoft Access é um sistema gerenciador de banco de dados relacional para o ambiente operacional *Windows*; é uma ferramenta utilizada para armazenar, controlar e proporcionar consistência, segurança e integridade no acesso aos dados coletados.

Este gerenciador utiliza tabelas relacionadas e normalizadas para armazenagem dos dados, e permite que as etapas de desenvolvimento, gerenciamento e análise do banco de dados sejam realizadas visualmente com recursos “clique” e “arrastar” do programa *Windows*, possibilitando aos usuários uma visão abstrata dos dados, o que facilita o seu uso.

Proporciona facilidade nas consultas utilizando operações aplicáveis ao sistema, gerando outras tabelas a partir da primeira, com o propósito de agilizar o acesso aos dados, viabilizando consultas, relatórios e informações rápidas.

Permite a utilização do padrão SQL, permitindo a manipulação dos dados de forma amigável. O SQL é uma linguagem estruturada e utilizada para consultar, atualizar e gerenciar bancos de dados relacionais.

5.4 SGBD Relacionais e o SIG

A forma usual de ligação entre um sistema de informação geográfica e um banco de dados relacional é através de um SGBDR (Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional) – chamado de modelo “geo-relacional” (INPE, 2005).

Para SANTOS & AMARAL (2002), o modelo geo-relacional é uma extensão do modelo relacional para permitir a modelagem de dados geográficos e utiliza um SGBDR para assegurar a ligação entre os dados espaciais e descritivos.

No modelo geo-relacional os componentes espaciais e descritivos do objeto geográfico são armazenados separadamente. Os atributos convencionais são guardados no banco de dados (na forma de tabelas) e os dados espaciais são tratados por um sistema dedicado. A conexão é feita via identificadores (id) de objetos (INPE, 2005).

Para recuperar um objeto, os dois subsistemas devem ser pesquisados e a resposta é uma composição de resultados. Esta arquitetura é ilustrada na figura 10.

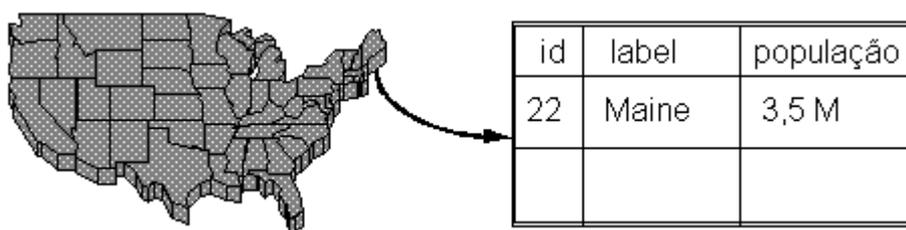


Figura 10 – Modelo de Dados geo-relacional
Fonte: INPE (2005)

5.5 SIG SPRING e o SGBDR Access

O SPRING é um SIG que pode ser projetado para operar eficientemente em conjunto com um SGBD. Possui uma estratégia dual, onde os objetos gráficos têm suas respectivas representações geométricas armazenadas em sistemas de arquivos e seus atributos convencionais armazenados em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional - SGBDR. A conexão entre os dois sistemas é realizada utilizando o modelo de dados geo-relacional descrito no item 5.4 (INPE, 2005).

Os bancos de dados do SPRING têm uma característica dual para armazenamento das informações da base. Ele contém um componente espacial, armazenado em arquivos gráficos proprietários da tecnologia, responsável pelo armazenamento de informações gráficas tipo pontos, linhas, arcos, polígonos, imagens, etc... Por outro lado, as informações de atributos espaciais e não espaciais,

relacionadas com os dados espaciais, ficam armazenadas em tabelas. Essas tabelas podem ser gerenciadas por alguns dos SGBDs, atualmente disponíveis no mercado.

O SPRING torna possível o uso de diversos SGBDR de mercado, com independência do fabricante, como o Oracle, MySQL, Access, dentre outros. No presente trabalho será utilizado o SGBD relacional Access, cujo uso é controlado a partir da criação de um banco de dados dentro do próprio SPRING. Os dados geográficos serão guardados em tabelas do SGBD relacional Access que compõe um único arquivo denominado Spring.mdb o qual está associado ao SPRING.

A associação dessas duas ferramentas de análise para o desenvolvimento desse trabalho, justifica-se pela facilidade de aquisição de ambas, pois o SPRING é um SIG de domínio público que atende às necessidades de banco de dados integrado e o Access é um gerenciador de banco de dados relacional de baixo custo. Esses fatores tornam esta associação uma opção atrativa, pois dispensa grandes investimentos por parte principalmente da administração pública de cidades de pequeno e médio porte.

CÂMARA & DAVIS Jr. (1999) afirmam que a modelagem de dados geográficos não necessariamente obriga o armazenamento dos dados em SGBD orientado a objetos. Segundo DAVIS Jr. & BORGES (1994), não se pode questionar o uso de SGBD relacionais para gerenciar dados espaciais.

6 MODELAGEM DOS DADOS

A modelagem dos dados gera o modelo de dados e, segundo CÂMARA et al. (1996), um modelo de dados deve fornecer ferramentas para descrever a organização lógica de bancos de dados, bem como definir as operações de manipulação de dados permitidas.

Durante o desenvolvimento de uma aplicação específica, o processo de modelagem, quando bem conduzido, produz uma visão abstrata da realidade. Isto facilita o acesso e a reutilização dos dados, bem como a expansão do banco de dados e a sua integração com outros bancos utilizados em aplicações distintas, que descrevem a mesma realidade (CÂMARA et al., 1996).

COUGO (1997) afirma que a modelagem de dados tem sido, basicamente, aplicada como meio para obtenção de estruturas de banco de dados, entretanto, para que se possa atingir o nível de compreensão e assimilação necessário, deve-se procurar desvincular modelagem à tecnologia utilizada para a implementação.

A modelagem de dados não é apenas uma ferramenta utilizada para projetar bancos de dados. COUGO (1997) descreve que a modelagem também tem outros objetivos, como os citados a seguir:

- Representar um ambiente observado;
- Servir de instrumento para comunicação;
- Favorecer o processo de verificação e validação;
- Capturar aspectos de relacionamento entre os objetos observados;
- Servir como referencial para a geração de estruturas de dados;
- Estabelecer conceitos únicos a partir de visões diversas.

Na modelagem, é importante identificar todos os objetos do mundo real que interfiram no sistema a ser desenvolvido. A seguir, extrai-se um conjunto de características essenciais do objeto de tal forma a garantir seu comportamento ou funcionamento adequado ao ser introduzido no sistema (RIBEIRO, 2003). Cabe ressaltar que o processo de modelagem é uma atividade criativa e não há uma solução única como resposta correta que possa ser verificada ao final de sua execução.

CÂMARA (1995) argumenta que a definição do modelo de dados é um aspecto fundamental para o projeto de SIG, porque o modelo descreve como a realidade geográfica será representada no computador, e que nenhuma outra decisão deverá limitar tanto a abrangência e o crescimento futuro do sistema quanto a escolha do modelo de dados.

A modelagem de dados é uma etapa fundamental na criação do banco de dados geográficos (VIEIRA et al., 1999). Fica clara a importância do modelo de dados em um projeto de SIG, o qual deverá contemplar apenas dados necessários para o aplicativo, evitando omissões ou excessos de dados para não prejudicar a estrutura do banco de dados, enfocando o problema proposto e atendendo às diferentes necessidades e desejos dos usuários.

6.1 Modelo de Dados

SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN (1999) descrevem que o modelo de dados se encontra sob a estrutura do banco de dados e é obtido através da modelagem dos mesmos. Ele é como um conjunto de ferramentas conceituais usadas para descrever os dados, seu inter-relacionamento, sua semântica e restrições.

RUMBAUGH et al. (1994) afirmam que os modelos são abstrações construídas para que um problema seja compreendido antes da implementação de uma solução. A sua excelência consiste em incorporar os elementos essenciais da realidade observada, descartando os elementos não essenciais.

O modelo busca sistematizar o entendimento 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 permitirem uma representação completa, considerando os recursos à disposição dos sistemas gerenciadores de banco de dados atuais. Desta forma, é necessário construir-se uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter-se uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados (BORGES, DAVIS Jr., LAENDER, 2005).

Portanto, o modelo deve conter somente os dados de maior relevância para o problema proposto. A seleção desses dados varia de acordo com o enfoque dado ao problema. As necessidades dos diferentes usuários e as possíveis aplicações do sistema direcionam a determinação de quais dados serão abstraídos do mundo real para comporem o modelo.

A abstração de conceitos e entidades existentes no mundo real é uma parte importante na criação de sistemas de informação. Para que um sistema seja bem sucedido, ele depende da qualidade da transposição de entidades do mundo real e suas interações com um banco de dados informatizado.

A abstração funciona como uma ferramenta que auxilia a compreensão do sistema e divide-o em componentes que podem ser visualizados em diferentes níveis de complexidade e detalhe (BORGES, 2002).

BORGES, DAVIS Jr., LAENDER (2005) afirmam que os modelos de dados são classificados de acordo com o nível de abstração empregado. Para aplicações geográficas, os autores consideram quatro níveis distintos de abstração (figura 11). Essa definição de níveis de abstração difere de algumas propostas, principalmente pela inclusão do nível de apresentação.

Os níveis de abstração são descritos a seguir:

- Nível do mundo real: contêm os fenômenos geográficos reais a serem representados, como rios, ruas e cobertura vegetal;
- Nível de representação conceitual: oferece um conjunto de conceitos formais com os quais as entidades geográficas podem ser modeladas da forma como são percebidas pelo usuário, em um alto nível de abstração. Neste nível são definidas as classes básicas, contínuas ou discretas, que serão criadas no banco de dados. Essas classes estão associadas a classes de representação espacial, que variam de acordo com o grau de percepção que o usuário tem do assunto. Essa preocupação não aparece com frequência nas metodologias tradicionais de modelagem de dados, uma vez que as aplicações convencionais raramente precisam lidar com os aspectos relativos à representação espacial (única ou múltipla) de objetos;
- Nível de apresentação: oferece ferramentas com as quais se podem especificar os diferentes aspectos visuais que as entidades geográficas têm de assumir ao longo de seu uso em aplicações;
- Nível de implementação: define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar cada tipo de representação, os relacionamentos entre elas e as necessárias funções e métodos.

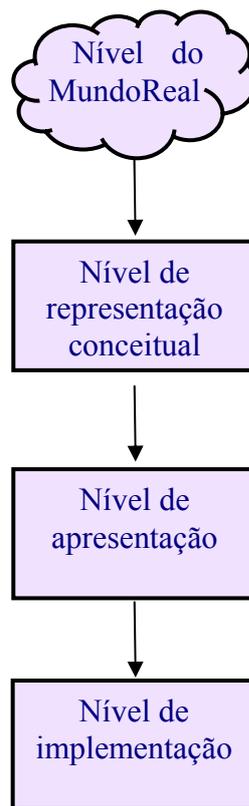


Figura 11 – Níveis de abstração de aplicações geográficas
Fonte: BORGES, DAVIS Jr., LAENDER (2005)

Para CÂMARA & DAVIS Jr. (1999), o modelo de dados adota uma estratégia de especificação que também identifica quatro níveis de abstração descritos e ilustrados na figura 12, porém de nomenclaturas e definições diferentes das propostas por BORGES, DAVIS Jr., LAENDER (2005).

- Nível do mundo real: contém os objetos geográficos a serem modelados (rio, temperatura, redes telefônicas);
- Nível conceitual: oferece um conjunto de ferramentas 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.

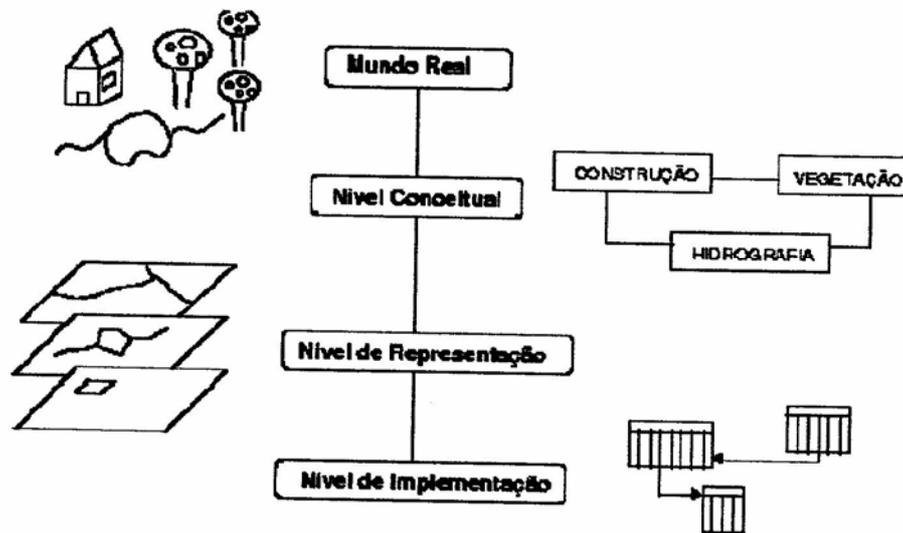


Figura 12 - Níveis de especificação de aplicações geográficas
Fonte: CÂMARA & DAVIS (1999)

Ao longo dos anos, vários modelos de dados surgiram, e apesar de muitas vezes terem a pretensão de se constituírem em ferramentas genéricas, refletem as condicionantes tecnológicas dos SGBDs à época de sua criação.

Para COUGO (1997), durante o ciclo de desenvolvimento de um sistema serão utilizados três modelos distintos, cada qual com suas características e particularidades:

- Modelo Lógico de Dados (MLD) - a preocupação não está só com a representação dos objetos observados, mas também, com os

conceitos necessários à implementação tais como: chaves, métodos de acesso, formatos de campos, etc. A obtenção do modelo lógico de dados se dará pela aplicação de regras de derivação sobre o modelo conceitual já construído.

- Modelo Físico de Dados (MFD) - a representação é realizada sob o foco do nível físico de implementação das ocorrências, ou instâncias das entidades e seus relacionamentos, a alocação do espaço físico nos diversos níveis de agrupamento (tabela, registros e campos).
- Modelo Conceitual de Dados (MCD) - os objetos, suas características e relacionamentos têm a representação fiel do ambiente observado, independente de limitações quaisquer impostas por tecnologias, técnicas de implementação ou dispositivos físicos. Neste nível devem ser ignoradas quaisquer particularidades de implementação, bem como desconsiderada qualquer preocupação com o modo de implementação futura.

Uma modelagem defende, basicamente a elaboração de um modelo que represente os objetos observados e seus relacionamentos, independentemente de preocupações com implementações lógicas ou físicas. Entende-se que os aspectos lógicos e físicos devem ser agregados posteriormente, pois são alheios à estrutura inerente dos dados observados em um ambiente ou conjunto de objetos (COUGO, 1997).

Neste enfoque multi-nível de modelagem de dados geográficos a importância do nível conceitual é identificada e indica claramente que o modelo conceitual deve refletir a interface do usuário, em um SIG, o mais próximo de sua realidade, ocultando tanto quanto possível os detalhes de implementação. Isso faz com que o usuário trabalhe com conceitos abstratos do mundo real, sem obrigá-lo a entender os problemas de implantação (CÂMARA & DAVIS Jr. 1999).

O modelo conceitual é uma etapa importante no desenvolvimento do banco de dados do SIG, onde a estruturação de dados deve ser bem definida para

não gerar informações ineficientes, pois segundo SILBERSCHATZ, KORTH, SUDARSAHN (1999), a eficiência na recuperação das informações está relacionada à forma em que foram definidas as complexas estruturas de representação dos dados no banco de dados.

6.2 Modelo de Dados Conceituais

Modelos de dados conceituais são visões simplificadas de uma parte da realidade e são construídos de acordo com determinadas regras, a fim de, dentre outros objetivos, facilitarem a implementação do banco de dados em sistemas de informações.

A modelagem é sempre feita com base em algum formalismo conceitual (ex.: Entidade-Relacionamento, Orientação a Objetos), ou seja, em cima de um conjunto de conceitos, elementos e regras que são usados no processo de modelagem da realidade, gerando o esquema conceitual, que é apresentado através de uma linguagem formal de descrição que possui uma sintaxe e uma notação gráfica. Para cada formalismo conceitual, existem diversas linguagens de descrição de esquema que são compatíveis com o formalismo (LISBOA FILHO e IOCHPE, 1996).

O formalismo fornece um conjunto de conceitos, elementos e regras que são usados no processo de modelagem da realidade, enquanto que a linguagem de descrição fornece uma gramática para a apresentação do modelo conceitual (LISBOA FILHO e IOCHPE, 1996).

Os modelos de dados conceituais são caracterizados por disporem de recursos de estruturação flexíveis e permitirem restrições aos dados; eles se destinam a descrever a estrutura de banco de dados em um nível de abstração independente dos aspectos de implementação. Exemplos de modelos nessa categoria são: o modelo entidade-relacionamento, modelo funcional, modelo binário e modelos orientados a objetos (BORGES, 2002).

O modelo deverá atender às necessidades do usuário e, para isso, é fundamental que se obtenha conhecimentos sobre a área e as atividades

desenvolvidas. Esse modelo será obtido através da análise das necessidades e requisitos do usuário. Esta atividade pode ser considerada como uma das mais críticas durante o desenvolvimento de um projeto.

WETHERBE (1987) define análise como o processo de separar um todo nas suas partes, para permitir o conhecimento das partes.

A aquisição destes conhecimentos, segundo NUNES (2002), é adquirida através do levantamento de dados, que é executado com a utilização de diversas técnicas. A seguir estão descritas as mais importantes e utilizadas:

- Levantamento preliminar - realizado sobre a área a ser analisada, através de pesquisa informal de dados, internet, trabalhos desenvolvidos ou contatos pessoais;
- Revisão da literatura - é utilizada com o objetivo de familiarizar-se com as terminologias e procedimentos utilizados pela empresa, para isso, torna-se importante a análise de documentos da empresa referentes ao tema que está sendo analisado;
- Entrevistas - é um dos principais instrumentos de apoio para o conhecimento da área usuária, é a mais acessível e mais usada forma de levantamento de dados. Capaz de produzir informações como: dados informais, qualificação dos usuários, atividades da área, afinidades da área com a política da empresa, dentre outras;
- Entrevistas de grupo - consiste em reuniões que envolvem usuários de diversos níveis para estabelecer as intenções e atividades do projeto; e
- Questionários - é uma forma prática de levantar dados através de formulários com questões objetivas e/ou dissertativas a respeito do sistema. Muito utilizados para coletar informações de um grande número de pessoas.

Estas técnicas podem e devem ser utilizadas de modo concomitante, visando à obtenção das informações necessárias no menor prazo possível.

No levantamento de dados existem alguns pontos que devem ser abordados (NUNES, 2002):

- Identificar os problemas existentes no sistema atual;
- Identificar a frequência dos problemas;
- Identificar o tempo disponível para uma solução;
- Identificar o ambiente do usuário e que como ele é afetado por mudanças tecnológicas, de mercado ou legislação;
- Identificar conflitos entre departamentos.

Com as informações obtidas no levantamento de dados, torna-se possível representar a situação atual através da modelagem. O modelo adquirido será de fundamental importância, pois através deste é possível certificar-se com o usuário a compreensão das atividades desenvolvidas na área. Segundo COUGO (1997), a compatibilização entre as características observadas e as reproduzidas é uma das atividades mais complexas no processo de modelagem dos dados.

Através de um formalismo gráfico, é possível abstrair os aspectos da realidade que se deseja modelar e devido à simplicidade dos construtores gráficos utilizados, torna-se simples a validação do modelo por parte dos usuários envolvidos no projeto.

Para ELMASRI & NAVATHE (1994), os modelos de dados conceituais são os mais adequados para capturar a semântica dos dados e, conseqüentemente para modelar e especificar suas propriedades. Eles descrevem a estrutura de um banco de dados independente dos aspectos de implementação.

Segundo PAREDES (1994) o modelo conceitual não apenas provê a base para esquematização, mas também é uma ferramenta para discussão.

Uma característica importante da utilização do modelo conceitual é a melhor compreensão pelo usuário leigo, pois o problema é representado

graficamente, e por não estar vinculado a nenhum SGBD, possui independência de detalhes na implementação e é compatível com qualquer estrutura de dados.

A modelagem conceitual apresenta diversas vantagens para a modelagem de aplicações geográficas (LISBOA FILHO et al., 1999):

- Facilita a execução do modelo lógico, o qual necessita atender às particularidades de um SIG específico;
- Propicia uma comunicação com o usuário sem a necessidade de utilização de termos técnicos;
- O modelo obtido independe da tecnologia de software utilizada, não sendo necessários investimentos em outro modelo, caso haja necessidade de mudança para uma tecnologia SIG mais moderna;
- Facilita a troca de informações entre parceiros de diferentes organizações.

6.2.1 Modelo de dados Semânticos

Segundo BORGES (2002), os modelos de dados semânticos foram criados com o objetivo de facilitar esquemas de projetos de banco de dados com altos níveis de abstrações para modelagem de dados, independente do software ou hardware a ser utilizado. Eles devem possuir as seguintes características:

- Expressividade - Distinguir diferentes tipos de dados, relacionamentos e restrições;
- Simplicidade - Ser simples o bastante para que os usuários possam entendê-lo e utilizá-lo, devendo possuir uma estrutura simples;
- Minimalidade - O modelo deve consistir num pequeno número de conceitos básicos, que são distintos e ortogonais em seu significado;

-
- Formalidade – Deve ter seus conceitos formalmente definidos;
 - Interpretação única - Cada esquema deve ser interpretado de forma inequívoca.

Conforme Navathe, citado por BORGES (2002), um modelo semântico deve suportar os seguintes conceitos de abstração:

- Agregação: é um conjunto 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”. De forma simplificada, uma agregação é usada, por exemplo, para agrupar atributos, ou seja, um objeto é definido pelo conjunto dos atributos que o descrevem;
- Classificação e Instanciação: classificação é o processo de abstração no qual objetos similares são agrupados dentro de uma mesma classe. Cada classe descreve as propriedades comuns ao conjunto de objetos. As propriedades podem ser estáticas (estruturais) ou dinâmicas (comportamentais). A maioria dos modelos semânticos representa apenas as características estáticas das entidades, enquanto que 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;
- 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;

- Identificação: cada conceito abstrato ou objeto concreto tem identificadores únicos.

Esses conceitos de abstração têm sido utilizados em diferentes combinações e em diferentes graus nos modelos de dados semânticos.

Segundo Navathe, citado por BORGES (2002), o modelo orientado a objetos é 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.

CÂMARA & DAVIS Jr. (1999) recomendam o uso de modelos orientados a objetos, pois apresentam flexibilidade e facilitam a especificação incremental de aplicações, características importantes em SIG.

6.2.1.1 Modelo Entidade-Relacionamento

Dentre as técnicas utilizadas para representar a modelagem conceitual, encontra-se o diagrama Entidade-Relacionamento (ER), proposto por Peter P. CHEN, em 1976. É uma ferramenta de modelagem usada para definir as informações necessárias ao modelo de Entidade-Relacionamento.

De acordo com BORGES (2002), o modelo ER é um dos primeiros modelos de dados semânticos. Esse modelo tem o objetivo de disponibilizar um meio simplificado de representar a armazenagem de dados complexos; é considerado um dos mais populares métodos de modelagem de dados que, segundo COUGO (1997), passou a ser um referencial definitivo para o processo da modelagem dos dados.

Segundo CHEN (1990), o diagrama Entidade-Relacionamento é uma representação gráfica, em forma de diagrama, dos objetos de interesse pertencentes ao mundo real. A sua composição é baseada em três elementos construtores básicos: entidade, relacionamento e atributo, conforme ilustrado na figura 13.

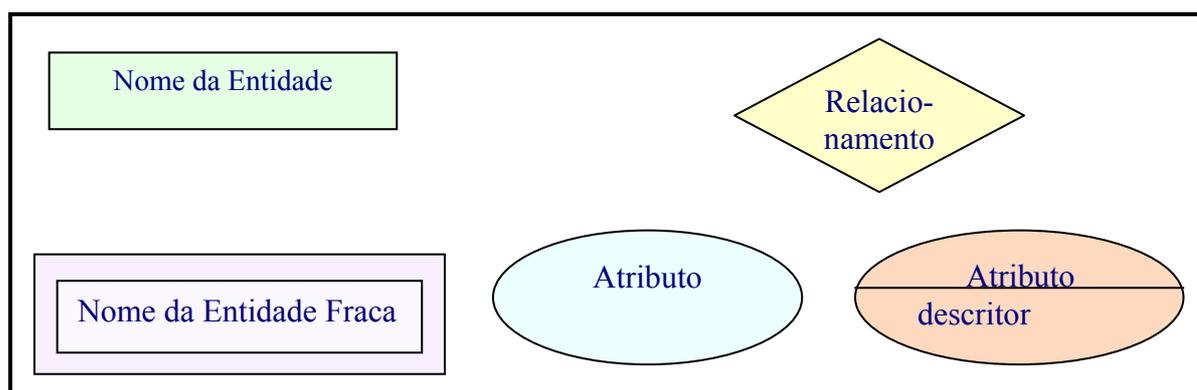


Figura 13 – Construtores básicos do Modelo ER
Fonte: CHEN (1990)

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

Relacionamento é uma representação de associações entre duas ou mais entidades, como uma tarefa a ser executada pelas entidades envolvidas. Para cada ocorrência de associação entre as entidades, o relacionamento recebe sua cardinalidade expressa por: 1:1 (um-para-um), 1:N (um-para-muitos), N:1 (muitos-para-um) ou M:N(muitos-para-muitos), indicando o número de vezes que uma entidade pode participar do relacionamento.

Atributo é uma propriedade que descreve uma entidade ou um relacionamento. Um atributo identificador, expressa unicamente uma entidade.

A proposta original de CHEN (1990), que se estabeleceu e mantém-se extremamente atualizada até os dias de hoje, baseia-se em um princípio que a torna ao mesmo tempo completa e inquestionável: a formalização do óbvio. Por apresentar uma notação gráfica simples e objetiva é que a abordagem entidade-relacionamento possui tanta flexibilidade e adaptabilidade e, por esse motivo, tem sido largamente utilizada (COUGO, 1997).

As principais características da modelagem Entidade Relacionamento são (MUNARI, 2005):

- Representação gráfica de uma modelagem de dados através de diagramas ER;
- Preocupação com a semântica dos relacionamentos;
- Ideal para a comunicação com usuários leigos;
- Independência de dados e de SGBD.

A modelagem de dados sob o enfoque de Entidade-Relacionamento proposto por CHEN, em 1976, tem evoluído ao longo dos anos para enfoques que a tornam mais próxima dos conceitos e do ambiente de orientação a objetos. Durante a evolução, têm sido agregados novos elementos ao modelo ER, que tornam a técnica mais rica em semântica e, portanto, aplicáveis as novas finalidades (COUGO, 1997).

Porém, quando se trata da representação de dados com localização geográfica, DAVIS Jr. & BORGES (1994) afirmam que “técnicas usuais de modelagem de dados, tais como o modelo de Entidade-Relacionamento, rapidamente demonstram suas limitações quando expostas às necessidades do gerenciamento de dados espaciais”.

Segundo CÂMARA et al. (1996), propostas mais antigas de modelos de dados geográficos baseiam-se no modelo relacional de dados, porém, estudos mais recentes indicam o uso de modelos orientados a objetos, pois além de flexíveis, facilitam a especificação incremental de aplicações, característica importante em SIG, porém, não necessariamente obrigam o armazenamento em um SGBD orientado a objetos.

Segundo LISBOA FILHO e IOCHPE (1996), existe uma forte tendência no sentido de se utilizar os conceitos do paradigma de orientação a objetos para o projeto de aplicações em SIG, com o objetivo de se encontrar um modelo de dados conceitual que seja ao mesmo tempo, rico o bastante para representar a complexa realidade das aplicações geográficas e o mais simples possível, para que possa ser entendido e utilizado pelos usuários de SIG.

6.2.2 Modelagem Orientada a Objetos

Para RUMBAUGH et al. (1994), modelagem baseada em objetos é um modo de estudar problemas com utilização de modelos fundamentados em conceitos do mundo real. A estrutura básica da modelagem orientada a objetos é o objeto que combina a estrutura e o comportamento dos dados em uma única entidade.

Segundo MARTIN (1994), o modelo representa um aspecto da realidade e é construído de tal forma que ajuda a melhor compreendê-la. Os modelos orientados a objetos refletem a realidade mais naturalmente do que os modelos tradicionais e têm o seu enfoque nos tipos de objetos e sua funcionalidade.

BORGES (2002) afirma que modelos orientados a objetos têm sido desenvolvidos para expressar e manipular as complicadas estruturas de conhecimento usadas nas diversas aplicações não convencionais.

Ao contrário dos modelos funcionais, onde a ênfase está nos procedimentos e funções executadas no sistema (ex.: modelo de Diagrama de Fluxo de Dados - DFD criado por GANE, em 1979), e dos modelos estáticos, onde a ênfase está nos dados armazenados (ex.: modelo Entidade-Relacionamento - ER criado por CHEN, em 1976), os modelos orientados a objetos utilizam uma filosofia que integra dados e funções em unidades denominadas objetos (LISBOA FILHO e IOCHPE, 1996).

Segundo RUMBAUGH et al. (1994), é atribuída maior importância à construção de sistemas em torno de objetos do que em relação à funcionalidade, porque os modelos baseados em objetos correspondem melhor ao mundo real e são mais flexíveis às modificações. Apresentam uma intuitiva representação gráfica de um sistema e são úteis para a comunicação com os clientes e para a documentação da estrutura do sistema.

A utilização de um projeto baseado em objetos transcende à escolha do banco de dados. Pode-se projetar bancos de dados hierárquicos, em rede, relacionais e baseados em objetos (RUMBAUGH et al., 1994). CÂMARA & DAVIS Jr. (1999) concordam com RUMBAUGH, quando afirmam, que a modelagem orientada a

objetos não obriga o armazenamento dos dados em, especificamente, um banco de dados orientado a objetos.

Para modelar objetos é necessário selecionar os elementos (objetos) da realidade que são significativos ao objetivo pretendido e identificar sua estruturação e relacionamentos através da abstração da realidade. RUMBAUGH et al. (1994) afirmam que o propósito da modelagem de objetos é descrever objetos, proporcionando melhor entendimento dos requisitos, projetos práticos e sistema de fácil manutenção.

O processo de modelagem conceitual é realizado utilizando-se mecanismos de abstração, ou seja, construtores básicos definidos pelo formalismo. Alguns conceitos básicos e principais mecanismos de abstração importantes sobre modelagem orientada a objetos são considerados a seguir, segundo RUMBAUGH et al. (1994):

- Objeto é uma abstração que representa elementos do problema em causa, possui limites nítidos e significado. Cada objeto possui identidade que o distingue pela sua própria existência e não pelas propriedades descritivas que ele possa ter.
- Classe de objetos descreve um conjunto de objetos com atributos, o mesmo comportamento (operações) e semântica comuns. È representada 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.
- Atributos são propriedades dos objetos na classe. A representação dos atributos é opcional em diagramas.
- Operação é uma ação que pode ser aplicada a um objeto, isto é, uma função de transformação do objeto.
- Ligações e Associações são meios utilizados para se estabelecer relacionamentos entre objetos e classes. Cada associação é

referenciada pelo nome e o número de classes na associação, define seu grau.

- Generalização é o relacionamento entre classes, produzindo uma hierarquia: uma ou mais classes generalizam-se em uma classe de nível mais alto. As classes se dividem em subclasses e superclasses; classe de nível mais baixo e classe de nível mais alto, respectivamente. Sua representação é realizada através de um triângulo interligando a superclasse às suas subclasses.
- 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 subclasses pode acrescentar suas próprias características.
- Agregação é um relacionamento “parte-todo” ou “uma-parte-de”, no qual os objetos que representam os componentes de algo são associados a um objeto que representa a estrutura inteira.

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.

Em relação ao modelo relacional, pode-se notar que, com a modelagem objeto-orientada, é possível captar melhor a complexidade de algumas aplicações. Segundo RUMBAUGH et al. (1994), a estruturação orientada a objetos preocupa-se primeiro em identificar os objetos contidos no domínio da aplicação e depois em estabelecer os procedimentos relativos a eles.

Um modelo de objetos incorpora a estrutura estática de um sistema mostrando os objetos pertencentes a esse sistema, os relacionamentos entre esses objetos, os atributos e as operações que caracterizam cada classe de objetos. Nesse

modelo o enfoque está no objeto e não na funcionalidade, por isso os modelos possuem maior proximidade com o mundo real e são, em consequência, mais adaptáveis às modificações (RUMBAUGH et al., 1994).

RUMBAUGH et al. (1994) ao compararem a abordagem OMT (Técnica de Modelagem de Objetos) com as metodologias de vários autores, ao posicionarem a OMT em relação à modelagem da informação, afirmam: “A modelagem de objetos OMT é uma forma aperfeiçoada da modelagem ER. A OMT aperfeiçoa a modelagem ER nos aspectos de expressividade e legibilidade”.

Muitos modelos de dados orientados a objetos foram desenvolvidos para expressar e manipular as complicadas estruturas do conhecimento usadas em várias áreas de aplicações não convencionais, como o SIG, entre outras. Estes modelos conceituais são desenvolvidos de forma a permitir que as entidades geográficas sejam da melhor forma possível representadas em um SIG.

De acordo com BORGES, DAVIS Jr., LAENDER (2005), os primeiros modelos de dados para aplicações geográficas eram voltados para as estruturas internas dos SIG. O usuário era forçado a adequar 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 aplicações geográficas necessitava de modelos mais adequados, capazes de capturar a semântica dos dados geográficos, oferecendo mecanismos de abstração mais elevados e independência de implementação (BORGES, DAVIS Jr., LAENDER, 2005).

Mesmo com toda a expressividade oferecida pelas técnicas tradicionais de modelagem, dificuldades surgem devido ao fato de que os dados geográficos possuem aspectos peculiares, particularmente com respeito à codificação da localização espacial e do tempo de observação, bem como em relação ao registro de fatores externos, como sua precisão de obtenção (BORGES, DAVIS Jr., LAENDER, 2005).

6.3 Modelo de Dados Geográficos

Alguns modelos de dados semânticos e orientados a objetos, tais como os modelos Entidade-Relacionamento (ER); *Object Modeling Technique* (OMT); *Is-a relationships, Functional relationships, complex Objects* (IFO); *Unified Modeling Language* (UML), dentre outros, têm sido muito utilizados para a modelagem de aplicações geográficas. Apesar de sua expressividade, esses modelos apresentam limitações para a adequada modelagem de aplicações geográficas, já que não possuem primitivas apropriadas para a representação de dados espaciais (BORGES, DAVIS Jr., LAENDER, 2005).

A modelagem de aplicações geográficas requer a utilização de técnicas específicas, que permitam armazenar e processar dados espaciais. Estes dados representam objetos cuja posição no espaço é relevante.

Ao realizar a associação das características espaciais ao modelo de dados, passa-se a ter um modelo de dados espaciais ou modelo de dados geográficos, cuja finalidade é caracterizar o domínio das informações espaciais necessárias para a implantação de um SIG, conceituando os entes espaciais e as relações existentes para um dado propósito (RODRIGUES & ALMEIDA, 1994).

A modelagem dos aspectos espaciais é fundamental na criação de um banco de dados geográficos. A partir dela, é especificada a visão que o usuário tem do mundo real. Por se tratar de uma abstração da realidade geográfica, resultados diferentes poderão ser obtidos para a mesma realidade, dependendo do que se quer representar e do que se quer obter com essa representação (BORGES, 1997).

A modelagem do mundo real é uma atividade complexa porque envolve a discretização do espaço como parte do processo de abstração, visando obter representações adequadas aos fenômenos geográficos (BORGES, 2002).

Quando se trata de modelagem para aplicações geográficas, BORGES, DAVIS Jr., LAENDER (2005), afirmam que esta possui necessidades adicionais, tanto com relação à abstração de conceitos e entidades, quanto ao tipo de entidades representáveis e seu inter-relacionamento.

LISBOA FILHO e IOCHPE (1996) afirmam que as aplicações de SIG apresentam requisitos de modelagem específicos que não são tratados adequadamente pelos modelos de dados convencionais como:

- Dicotomia entre os campos e objetos;
- Tratamento unificado dos dados espaciais e não espaciais;
- Relacionamentos espaciais;
- Qualidade e disponibilidade dos dados;
- Temporalidade e representação de limites difusos.

De acordo com BERTINI & CÉZAR (2005), características de dados geográficos tornam a modelagem mais complexa do que a modelagem de informação convencional. O objetivo de se incluir, no esquema conceitual, informações sobre objetos espaciais relacionados a fenômenos geográficos é o de permitir a realização da modelagem (abstração) do componente espacial de cada fenômeno.

Um modelo de dados para aplicações geográficas deve possuir um conjunto de requisitos como os descritos a seguir (BORGES, 2002):

- 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.

LISBOA FILHO et al. (1999) afirmam que “existem diversos modelos conceituais de dados propostos na literatura especificamente para aplicações de sistemas de informações geográficas, como por exemplo, GeoOOA (*Object-oriented Analysis Method* - Kösters et al., 1997), Geo-ER (*Entity-Relational Model for geographic Applications* - Hadzilacos e Tryfona, 1997), Modul-R (*Formalism Modul-R* - Bédard et al., 1996), GMOD (*Generic Model Organism Data Base* - Pires, 1997), OMT-G (*Object Modeling Technique for Geographic Applications* - Borges, 1997) e MADS (*Modeling of Application Data with Spatiotemporal* - Parent et al., 1998). A maioria deles é baseada nos formalismos Entidade-Relacionamento e da Orientação a Objetos. No entanto, os modelos se diferem muito com relação à notação gráfica e quanto à linguagem léxica (quando definida)”.

Os modelos, que em sua maioria são extensões dos modelos para aplicações convencionais, procuram refletir melhor as necessidades de aplicações geográficas, porém, antes de adotar qualquer um destes modelos, é importante 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 (BORGES, 2002).

6.4 Modelo OMT-G

A modelagem orientada a objetos veio para substituir os métodos de especificação de sistema anteriormente existentes, permitindo a modelagem de sistemas geográficos. No final dos anos 80, surgiu a técnica de orientação a objetos que, posteriormente, foi evoluindo até quando RUMBAUGH introduziu a Técnica de Modelagem de Objetos, ou *Object Modeling Technique* - OMT. Para suprir as deficiências da modelagem convencional, em 1997, BORGES criou OMT-G, que é uma Técnica de Modelagem de Objetos para aplicações geográficas, que possibilita modelar geometria, topologia e relações espaciais, permitindo a modelagem de aplicações geográficas (LISBOA FILHO et al., 1999).

O modelo OMT-G (BORGES, 1997) é a extensão do Modelo orientado a objetos - OMT convencional (RUMBAUGH et al., 1994), partindo das primitivas definidas para o diagrama de classes da *Unified Modeling Language* (UML), onde foram introduzidas primitivas geográficas com o objetivo de aumentar a capacidade de representação semântica do modelo e, reduzindo, portanto, a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual (BORGES, 1997).

Este modelo fornece primitivas para modelar a geometria e a topologia dos dados espaciais, suportando diferentes estruturas topológicas, múltiplas visões dos objetos e relacionamentos espaciais. Dessa forma, ele supre as principais limitações dos modelos convencionais, provendo maiores facilidades para a modelagem de aplicações geográficas (BORGES, 1997).

O modelo OMT-G possui alguns pontos fortes, no que se refere a sua expressividade gráfica e sua capacidade 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. Apesar de toda sua expressividade, o modelo OMT-G não apresenta as primitivas para a representação de versões e relacionamentos temporais (BORGES, 1997).

Segundo BORGES (1997), o modelo OMT-G é baseado em três conceitos principais: classes, relacionamentos e restrições de integridade espaciais. Classes e relacionamentos definem as primitivas básicas usadas para criar esquemas estáticos de aplicação com o modelo OMT-G.

O modelo OMT-G representa os seguintes tipos de relacionamentos entre suas classes: associações simples, relações topológicas de rede e relações espaciais. As relações espaciais e não espaciais possuem grande importância na compreensão do espaço modelado.

A identificação de restrições de integridade espacial é uma das principais atividades no projeto de aplicação e consiste na identificação de condições que precisam ser garantidas para manter a integridade semântica do banco de dados (BORGES, DAVIS Jr., LAENDER, 2005).

As classes básicas do OMT-G são: Classes Georreferenciadas e Classes Convencionais, conforme apresentadas na figura 14. 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 (BORGES, 2002).

A Classe Georreferenciada descreve um conjunto de objetos que possuem representação espacial e estão associados a regiões da superfície da terra, representando a visão de campos e de objetos.

Já, a 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 geográficos.

A distinção entre classes convencionais e georreferenciadas permite que aplicações diferentes compartilhem dados não espaciais, desta forma facilitando o desenvolvimento de aplicações integradas e a reutilização de dados.

As classes convencionais são simbolizadas exatamente como na UML, as classes georreferenciadas são simbolizadas no modelo OMT-G de forma semelhante, incluindo no canto superior esquerdo um retângulo que é usado para indicar a forma geométrica da representação (QUEIROZ & FERREIRA, 2006).

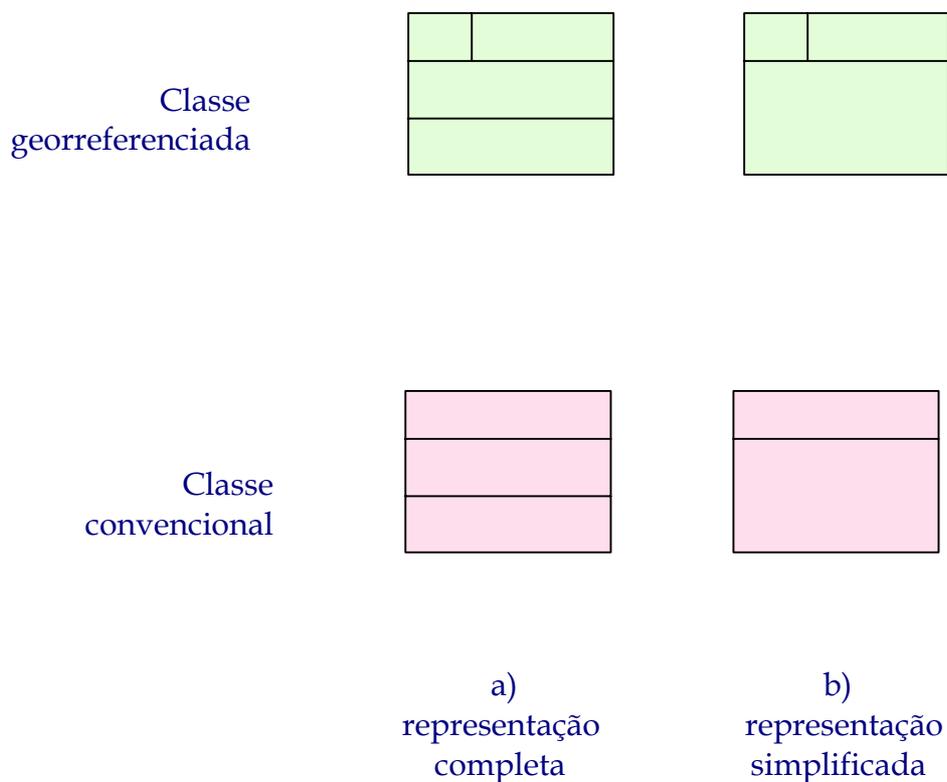


Figura 14 - Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G
Fonte: BORGES (2002)

As classes georreferenciadas são especializadas em classes do tipo geo-objetos (figura 15) e geo-campos (figura 16). Classes geo-campo representam objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, correspondendo a variáveis como tipo de solo, relevo e geologia. Classes geo-objeto representam objetos geográficos particulares, individualizáveis, associados aos elementos do mundo real, como edifícios, rios e árvores.

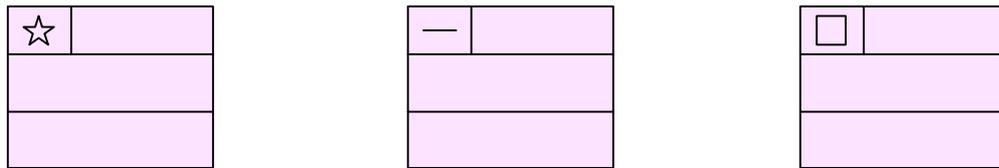


Figura 15 - Geo-Objetos
 Fonte: BORGES (2002)

Rede
 triangular
 Irregular

Isolinhas

Amostras

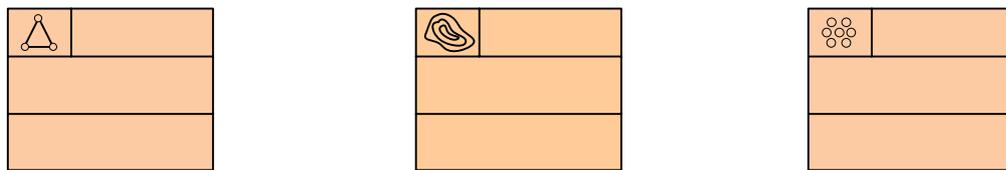


Figura 16 - Geo-Campos
 Fonte: BORGES (2002)

Segundo BORGES (2002), as características do modelo OMT-G são:

- 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”;

-
- 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.

Recentemente alguns trabalhos têm utilizado o modelo conceitual OMT-G no desenvolvimento de sistemas. FONSECA (2004) apresenta a modelagem de um banco de dados para implantação de SIG para suporte ao plano de desenvolvimento institucional da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). BARBOSA (2006), em seu trabalho de SIG para Planejamento e Gestão Urbanos para o distrito de Bonfim Paulista - Ribeirão Preto, utilizou a ferramenta OMT-G para modelagem do banco de dados.

Segundo BORGES & LAENDER (1997), o modelo conceitual orientado a objeto OMT-G tem sido muito utilizado nas aplicações georreferenciadas da Prefeitura de Belo Horizonte, sendo considerado satisfatório o resultado obtido, como é o caso de ZUPPO et al. (1996).

7 MÉTODO

Com o objetivo de modelar um banco de dados georreferenciados para gestão e operação de transporte coletivo urbano, optou-se por adotar o processo de modelagem de dados geográficos descrito por CÂMARA & DAVIS Jr. (1999).

Este processo de modelagem aborda níveis de abstração como:

- Nível do mundo real;
- Nível conceitual;
- Nível de representação;
- Nível de implementação.

Esses níveis são referenciados na revisão bibliográfica e detalhados a seguir.

7.1 Descrição dos níveis de abstração

7.1.1 Nível do Mundo Real

Para se desenvolver um projeto que atenda as necessidades do usuário é fundamental satisfazer a abstração do mundo real, e para isso, é necessário que se faça uma avaliação das necessidades e requisitos do usuário.

Considerando que a principal atividade na avaliação das necessidades e requisitos é a comunicação, pois envolve a obtenção e o repasse de conhecimentos sobre os objetos geográficos a serem modelados, pode-se concluir nesta fase, o grau de complexidade e o risco envolvido para o sucesso do projeto (NUNES, 2002).

Por este motivo, esta fase é considerada uma das principais etapas de modelagem de dados, e uma boa comunicação entre desenvolvedor e usuário; é o primeiro passo para que a implementação de um SIG seja bem sucedida.

Para estabelecer a comunicação com o usuário do sistema, com o objetivo de adquirir conhecimento, devem ser utilizadas algumas técnicas de levantamentos de dados mais importantes, como sugere NUNES (2002), descritas a seguir:

- Levantamento preliminar - Inicialmente, a aquisição de conhecimento será realizada através da internet, acessando o *site* da EMDURB, órgão gestor do transporte coletivo, com o objetivo de se familiarizar com as terminologias e procedimentos adotados pela empresa e pelo setor responsável.
- Entrevistas de grupo - Deverá ser realizada uma entrevista com os usuários dos diversos níveis da administração, com o objetivo de explicar as intenções do projeto e a necessidade de obtenção das informações, advindas dos diversos funcionários e setores envolvidos.
- Revisão de documentos - Serão analisados os mapas analógicos, o fluxo de informações e os documentos de entrada e saída manipulados pelo setor.
- Entrevistas individuais - É considerada a forma mais comum e mais acessível de fazer levantamento de dados junto aos funcionários e técnicos envolvidos no transporte, por isso as questões devem ser bem planejadas e formuladas para se obter resultados satisfatórios.

O entrevistador poderá permitir discussões de qualquer outro item não contemplado nos questionários, que porventura possam surgir no decorrer da entrevista, desde que seja referente ao assunto, o que poderá trazer enriquecimento aos dados obtidos. As entrevistas deverão ser realizadas com os funcionários e técnicos envolvidos no processo, com hora marcada.

-
- Questionários – Essa técnica de levantamento de dados não será utilizada, tendo em vista, o pequeno número de funcionários e técnicos envolvidos no processo de transporte, e a facilidade direta de obtenção de informações na utilização da técnica de entrevistas. Destarte, a técnica de entrevistas, seja individual ou em grupo, torna-se vantajosa pela possibilidade dos questionamentos e discussões em curso, permitirem o exercício da criatividade de ambas as partes e o enriquecimento do conteúdo das informações obtidas.

7.1.2 Nível Conceitual

Nesta fase deve-se obter uma representação gráfica dos temas e objetos definidos por classes através da criação do Diagrama de Temas e do Meta Modelo Parcial criado por BORGES (1997).

Através de uma seleção e padronização dos dados obtidos no nível anterior é possível criar essas representações gráficas para o Transporte Coletivo, atendendo assim o nível de abstração conceitual.

O Diagrama de Temas possibilita visualizar os níveis de informações abrangidos pela aplicação no contexto geográfico, fornecendo um nível de abstração mais elevado. O Meta Modelo Parcial é a representação dos objetos que já foram identificados e conceituados na fase de abstração da realidade.

Para o desenvolvimento desses modos de representação é necessário analisar, selecionar e padronizar rigorosamente os dados obtidos para evitar duplicidade e conflitos. Somente as informações relevantes ao sistema serão consideradas, evitando as redundantes ou desnecessárias.

Através dessas representações os objetos, classes, atributos, operações e associações serão identificadas e definidas quanto a sua natureza, possibilitando a construção do modelo OMT-G.

7.1.3 Nível de Representação

No nível de representação, deve-se criar o modelo de dados geográficos seguindo a notação gráfica do Modelo OMT-G de BORGES (1997), e para isso utiliza-se a ferramenta de modelagem Microsoft Visio 2003.

Para a criação desse modelo selecionam-se os objetos, com base nos nas representações gráficas desenvolvidas no nível anterior, identificando-se suas características, operações, relacionamentos e comportamentos.

Neste modelo, com o auxílio do usuário, definem-se os aspectos visuais (escala, atributos gráficos, etc.) dos temas em representação, permitindo ao desenvolvedor certificar-se do entendimento dos usuários do sistema quanto às atividades desenvolvidas.

7.1.4 Nível de Implementação

A implementação física das representações definidas no modelo de banco de dados geográficos desenvolvido no nível de representação dá-se através da aplicação realizada em um projeto piloto para o transporte coletivo do município de Bauru - SP, considerada de porte médio.

Para realizar tal aplicação deverá ser utilizada a base cartográfica digital do município, a qual foi adquirida junto ao Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo da UNESP de Bauru.

A inserção dos dados referentes ao transporte coletivo no mapa digital, será realizada através do software SIG SPRING, utilizando os dados levantados no primeiro nível de abstração, provenientes da empresa gestora do transporte coletivo do município - EMDURB.

Será necessária a criação de um Banco de Dados, para definir um ambiente para armazenar os dados geográficos sem estar vinculado ainda a uma área específica. Para tal será utilizado o Gerenciador de Banco de Dados Access.

Uma vez criado o Banco de Dados, será necessário criar um Projeto onde deverão ser definidas as coordenadas planas ou geométricas e o sistema de

projeção a ser utilizado, o qual permitirá especificar o espaço geográfico da área de trabalho, onde serão inseridos os diversos dados.

Deverão ser definidas no SPRING as Categorias necessárias para a aplicação do projeto piloto, as quais deverão ser criadas no Projeto, o que permitirá organizar os diferentes tipos de dados. Essas Categorias deverão conter os Planos de Informação (PI), que deverão ser criados para armazenar dados para devida visualização e manipulação.

A alimentação do banco de dados de atributos referentes ao Transporte Coletivo, deverá ser realizada através da importação de dados externos ou da digitação dos dados analógicos obtidos no nível de abstração do mundo real.

Tanto os dados digitais como os analógicos existentes deverão ser previamente analisados e tratados. Os digitais deverão ser importados para o Access e os dados analógicos deverão ser inseridos através de digitação manual no SPRING, ou ainda através de telas de acesso ao banco de dados do Access, para facilitar a manipulação dos mesmos.

Deve-se digitalizar os objetos espaciais (itinerários, pontos de parada, abrigos) de acordo com as informações levantadas e realizar a devida associação dos objetos espaciais aos descritivos (atributos do itinerário, linha, pontos de parada, dentre outros) utilizando a ferramenta SPRING.

8 APLICAÇÃO DO MÉTODO

8.1 Transporte coletivo no município de Bauru – objeto de estudo

8.1.1 Caracterização da cidade

Bauru, cidade do interior paulista, localizada a 325 km da capital, possui área de 674 km² e população superior a 357 mil habitantes, sendo que 98,55% dela reside na região urbana. A cidade abriga duas universidades estaduais, Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho (UNESP), e seis entidades de ensino superior particulares.

Município privilegiado pela sua localização, na região centro-oeste do estado, exerce a função de pólo centralizador regional das atividades comerciais e de serviços, e em menor escala é crescente o setor industrial.

8.1.2 Histórico e Legislação

A história do transporte coletivo no município começou em 1940, com o Sr. Alexandre Quággio, proprietário da Empresa Circular da Cidade de Bauru – ECCB, o qual deteve o monopólio até o ano de 1996 (EMDURB, 2004b).

Somente em 25 de setembro de 1979 é que a Lei Municipal nº. 2166, aprovada pela Câmara Municipal de Bauru, autorizou o Poder Executivo a criar a Empresa Municipal de Transportes Urbanos de Bauru - EMTURB, empresa pública, dotada de personalidade jurídica de direito privado, com patrimônio próprio e autonomia administrativa, técnica e financeira.

Em 1986, a lei Municipal nº. 2637 alterou a denominação e as atribuições da Empresa Municipal de Transportes Urbanos de Bauru. A denominação da EMTURB passou a ser Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru – EMDURB, quando recebeu novas atribuições.

A EMDURB foi novamente reestruturada, através da Lei nº. 3570, de 02 de junho de 1993, ainda vigente, a qual determina os objetivos sociais da EMDURB que possui, dentre outras, a atribuição de supervisionar, gerenciar e executar a política de transportes do município, bem como obras, empreendimentos e serviços a elas vinculados.

O monopólio na prestação de serviços de transporte pela empresa pioneira ECCB foi interrompido em 1996, com o ingresso de duas novas empresas operadoras no sistema através de licitação. Em 2002, quando a ECCB encerrou suas atividades, propiciou o ingresso de uma outra operadora, perfazendo o total de três empresas privadas, as quais são, atualmente, as responsáveis pela operação do sistema de transporte coletivo do município de Bauru (EMDURB, 2004b).

Estudos e pesquisas foram realizados em 2002 e verificou-se que, até então, a rede de transporte coletivo possuía itinerários sobrepostos, gerando altos custos ao sistema. Esses estudos propiciaram uma nova modelagem da rede de transporte, a qual foi implantada em abril de 2003 (EMDURB, 2004b).

A remodelagem proporcionou a substituição de alguns ônibus do tipo convencional por microônibus e a diminuição do número de linhas e veículos em operação, refletindo na redução de cerca de 100 mil km/mês e uma economia aproximada de R\$ 400.000,00/mês (EMDURB, 2004b).

O estudo e a implantação da nova modelagem da rede foram instituídos tendo em vista a implantação da bilhetagem automática, a qual ocorreu em maio de 2004, trazendo ao passageiro o benefício da integração com maior acessibilidade a um menor custo.

Com o redimensionamento das linhas, a EMDURB pretendeu tornar o atendimento mais concentrado, racionalizado, com melhor velocidade, maior frequência e menor custo, proporcionando ao passageiro uma melhoria na qualidade do transporte oferecido.

8.1.3 Importância

O transporte coletivo é um serviço essencial e influencia diretamente a qualidade de vida da população das cidades. Faz parte do cotidiano da maioria das pessoas que se deslocam para trabalhar, estudar, etc. Por outro lado, o transporte participa da dinâmica de desenvolvimento da cidade, e interfere concretamente em sua organização espacial e social.

Hoje, a população bauruense, para se deslocar de ônibus, dispõe de 69 linhas que compõem o sistema de transporte coletivo da cidade, o qual possui trajetos de deslocamento entre as regiões da cidade. Esse sistema é constituído de 45 linhas diametrais, 10 linhas circulares, 13 linhas radiais e 1 linha distrital, e é operado por três empresas privadas: Grande Bauru, Cidade Sem Limites e Baurutrans (EMDURB, 2004b).

A quilometragem média percorrida é de 1.600.000 km/mês, transportando cerca de 2,6 milhões de passageiros/mês, utilizando 228 veículos do tipo convencional e 6 microônibus. O sistema de transporte é operado durante 24 horas diárias, pois na madrugada operam 5 linhas noturnas, e para transporte de deficientes o sistema dispõe de uma linha operada por 4 ônibus adaptados com elevadores (EMDURB, 2004b).

8.1.4 Gestão e Operação

O transporte público é um serviço de caráter essencial, seu provimento e estruturação na cidade de Bauru, são de competências do município e seu gerenciamento fica ao encargo da Empresa de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru - EMDURB, a qual efetua o planejamento do transporte coletivo identificando os principais pólos de atração e produção de viagens, buscando ajustar a oferta de veículos à demanda de passageiros, a fim de proporcionar ao passageiro uma acessibilidade satisfatória e uma tarifa justa.

Cabe a EMDURB o gerenciamento do sistema de transporte coletivo, definição de linhas, itinerários, horários, localização dos pontos, número de veículos em cada linha, cálculo de valores das tarifas, emissão de carteiras de estudante,

deficiente e idoso, cálculo da remuneração das empresas operadoras, fabricação e implantação dos postes de identificação dos pontos de parada (EMDURB, 2004a).

A gestão do transporte público é feita em cumprimento à Lei 4035 de 11/03/96, que dispõe sobre o Sistema Municipal de Transporte Público. O decreto nº. 7657, de 26/04/96, institui o Regulamento do Serviço Essencial de Transporte Coletivo de Passageiros do Município. Para tanto, a empresa conta com equipes de planejamento, pesquisa de campo, implantação, fiscalização e medição (EMDURB, 2004a).

É óbvia a importância do serviço prestado pelo ônibus aos centros urbanos. O cerne do planejamento dos transportes coletivos está em encontrar soluções para atender à realização dos deslocamentos de pessoas, eliminando os trajetos não satisfeitos ou satisfeitos inadequadamente, evitando situações críticas e suas conseqüências prejudiciais antes que aconteçam (STT, 1987).

Segundo EMDURB (2004b), o objetivo do transporte coletivo do município de Bauru é proporcionar:

- Melhor qualidade de vida para toda a população, traduzida por melhores condições de transporte, segurança e acessibilidade para realização das atividades necessárias à vida moderna;
- Maior eficiência urbana, traduzida pela disponibilidade de uma rede de transportes integrada por modos complementares, trabalhando em regime de eficiência, com prioridade efetiva para os meios coletivos no uso do sistema viário;
- Melhor qualidade ambiental, traduzida pelo controle dos níveis de poluição atmosférica e sonora, e pela proteção do patrimônio histórico e arquitetônico, e das áreas residenciais e de vivência coletiva contra o trânsito indevido de veículos.

8.2 Método Proposto: aplicação para o caso da cidade de Bauru

Dos quatro níveis de abstração propostos por CÂMARA & DAVIS Jr. (1999) para o desenvolvimento do modelo conceitual de um banco de dados geográficos, proposto neste trabalho, adentrou-se inicialmente nos três primeiros níveis de abstração, e para isso, foram utilizados os dados coletados na EMDURB, empresa gestora responsável pelo Transporte Coletivo do município de Bauru.

Para atender ao quarto nível de abstração, após a realização da modelagem conceitual desenvolvida nos três primeiros níveis, foi aplicado o modelo desenvolvido em um projeto piloto, através da inserção dos dados obtidos nos níveis anteriores.

8.2.1 Nível do Mundo Real

Para adentrar no primeiro nível, de abstração do mundo real, foi necessário obter o conhecimento das necessidades e requisitos dos usuários, que foi realizado através da comunicação entre o desenvolvedor, diretor e funcionários da Diretoria de Transporte Coletivo da EMDURB.

Essa comunicação foi estabelecida através da utilização de algumas das técnicas de levantamento de dados que compõem a etapa de análise das necessidades e requisitos dos usuários, descritas por NUNES (2002) e referenciadas nos capítulos 6 e 7 deste trabalho.

Inicialmente, foi utilizada uma das técnicas de NUNES (2002), o levantamento preliminar, que consistiu no levantamento de dados obtidos através do acesso ao *site* da EMDURB e a realização de visitas informais.

O acesso a este *site* possibilitou obter conhecimentos sobre o histórico da empresa, sua criação, organização e atividades desenvolvidas por suas diretorias, e mais especificamente tomar ciência, de forma sucinta, das atividades desenvolvidas pela Diretoria de Transportes.

Ao consultar o *site* sobre os horários e itinerários dos ônibus, observou-se que em função do dia da semana ou período (útil, férias escolares, sábado,

domingo e feriado) em que o percurso da linha é realizado, existe uma diversificação nos horários e itinerários, variando em função disso, o trajeto e frequência dos ônibus coletivos.

Através de visitas informais, obteve-se outras informações sobre o funcionamento dos setores da Diretoria de Transporte Coletivo, o ambiente operacional, estrutura organizacional, quais usuários estão envolvidos, e de forma superficial, os eventos e procedimentos dos mesmos.

A técnica de entrevista em grupo foi utilizada ao se realizar com a diretoria e chefia do Departamento de Transportes, uma reunião para a explanação das intenções do projeto, a fim de se esclarecer a necessidade de intercâmbio de informações, para a devida evolução da modelagem. Considerou-se que obtendo apoio da diretoria, os demais funcionários do setor forneceriam as informações necessárias.

Quando da realização da entrevista, o grupo mostrou-se receptivo ao desenvolvimento da pesquisa, fato que muito estimulou a continuidade do projeto.

Com a preocupação de obter informações sem ocupar o tempo desses funcionários, utilizou-se a técnica de revisão de documentos, solicitando a esses funcionários a disponibilização de alguns documentos utilizados pelo setor de transporte, para que analisados pudessem acrescentar mais conhecimentos sobre o funcionamento do setor.

Foram analisados mapas analógicos e documentos de entrada e saída, possibilitando obter informações referentes ao transporte coletivo no que se refere aos seus atributos, quanto ao tipo, formato, utilização e as relações existentes entre os dados.

As informações obtidas no *site*, nas visitas informais e na análise dos documentos foram posteriormente melhoradas, quando da realização de entrevistas individuais com os funcionários e técnicos envolvidos no processo.

Considerando o pequeno número de funcionários envolvidos no setor de transporte e a facilidade encontrada na comunicação com os mesmos, a entrevista

individual foi a técnica mais utilizada para levantar dados, esclarecer os desejos, as necessidades e dúvidas existentes.

As entrevistas realizaram-se com hora marcada e de acordo com o andamento do projeto, alguns pontos foram levantados antecipadamente, com o propósito de se ter uma abordagem mais direcionada, para não atrapalhar o andamento das atividades do setor.

No decorrer das entrevistas, tanto o entrevistado como o entrevistador abordaram outros assuntos não pautados, porém ainda referentes ao tema, os quais vieram contribuir para aumentar os conhecimentos referentes à gestão do transporte coletivo.

Desta forma, averiguou-se os elementos e entidades envolvidas e seus relacionamentos, as atribuições e responsabilidades pertinentes a cada setor e suas relações existentes com os demais setores.

Foram realizadas análises do fluxo de informações decorrentes do processo de criação, manutenção e consulta das informações referentes ao transporte coletivo e suas características físicas.

Constatou-se a dificuldade encontrada na obtenção da informação, tendo em vista que a consulta e atualização dos cadastros são realizadas de forma analógica, através de apontamentos manuais.

Nas entrevistas, identificou-se as necessidades, desejos e prioridades dos usuários, as informações de maior relevância para o setor e a existência de rotinas manuais e informatizadas, com o objetivo de obter uma descrição detalhada e clara das informações, sobre a forma atual de armazenamento, manipulação e consulta dos dados.

Verificou-se também, as necessidades do usuário de acesso às informações, através das aplicações de cadastro, manutenção, consulta e visualização, análise de mapas ou geração de mapas temáticos.

8.2.2 Nível Conceitual

A abstração da realidade adquirida com a avaliação das necessidades do usuário e com o levantamento dos dados tornou possível a obtenção de um conjunto de conceitos formais que possibilitaram a representação gráfica dos temas e objetos conceituados, através da criação do Diagrama de Temas e do Meta Modelo Parcial, aplicando, dessa forma, o nível conceitual, considerado de grande importância no desenvolvimento da modelagem.

Através desses modos de representações gráficas foi possível se obter uma visão holística do espaço a ser modelado e suas aplicações, que serviram de subsídio para o desenvolvimento do modelo OMT-G apresentado no nível seguinte.

O Diagrama de Temas (figura 17) possibilitou visualizar os planos de informações envolvidos por esta aplicação geográfica, auxiliando na compreensão da abrangência do projeto e ao mesmo tempo de suas partes.

Esse diagrama permitiu agrupar com polígonos as classes pertencentes a um mesmo tema. Iniciando-se o diagrama com o objeto ou tema que possui maior abrangência areal, que é o espaço que representa o município, e em seguida, agrupam-se hierarquicamente os demais temas obedecendo aos relacionamentos existentes entre eles.

Baseando-se no Diagrama de Temas desenvolvido, foi criado o Meta Modelo Parcial (figura 18), que consiste na representação dos objetos identificados e conceituados na fase de abstração da realidade.

Foi realizada a seleção e padronização detalhada das informações levantadas, considerando somente as relevantes ao sistema, evitando-se, assim, as informações duplicadas ou desnecessárias, facilitando, desta forma, o entendimento do modelo.

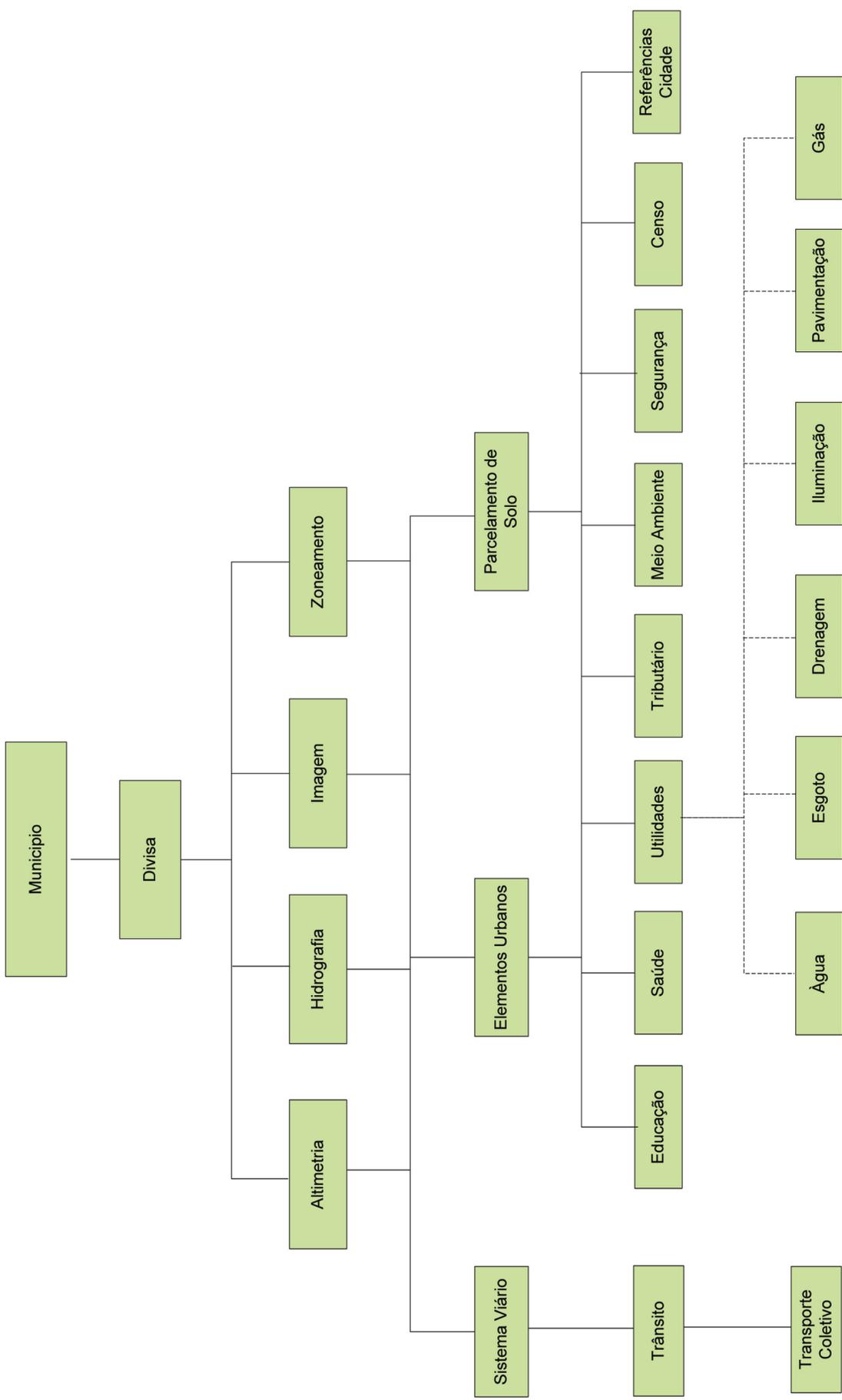


Figura 17 - Diagrama de Temas

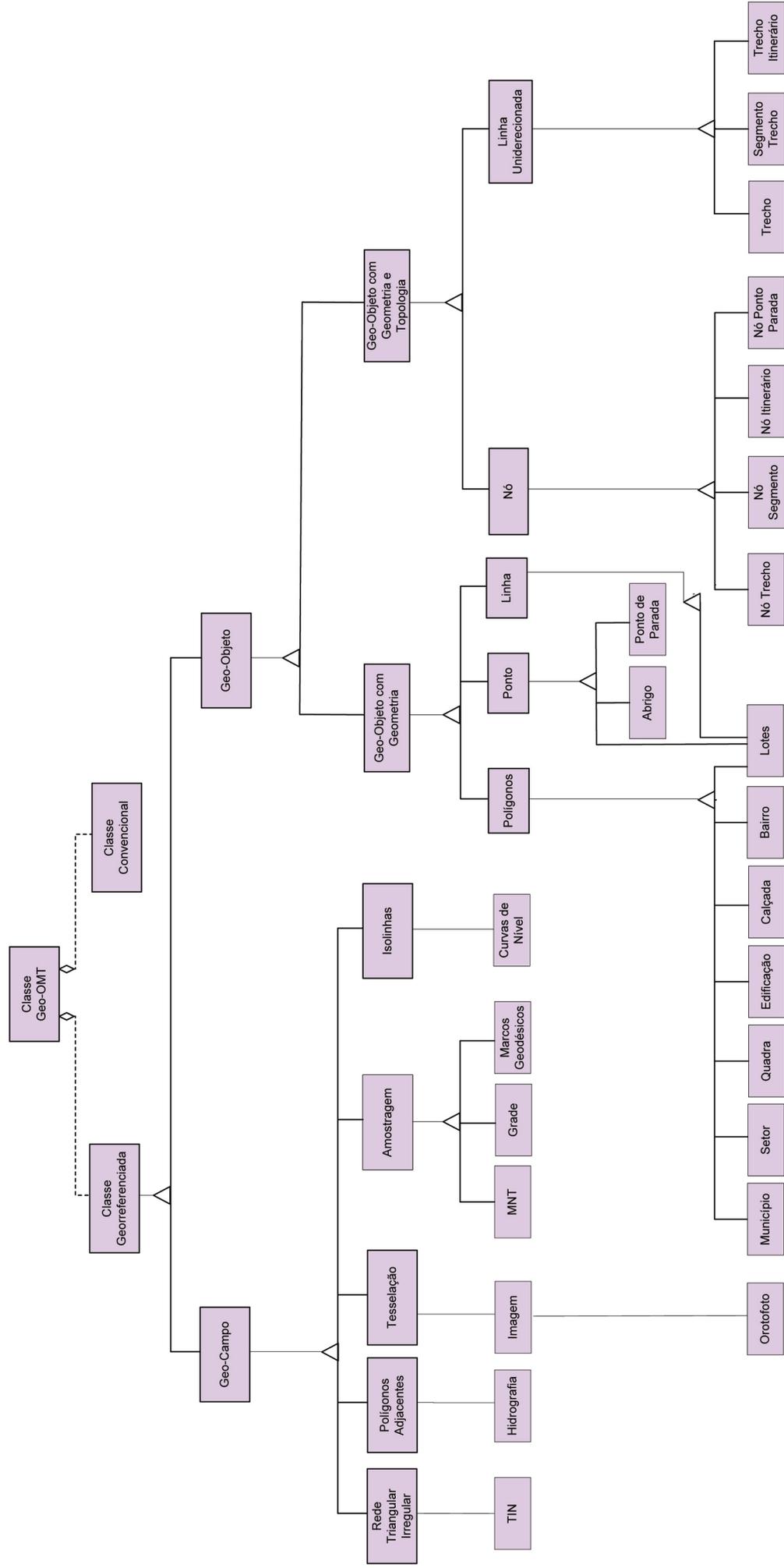


Figura 18 - Meta Modelo Parcial para Modelagem do Transporte Coletivo

Detalhou-se as informações referentes ao desempenho das atividades de cada setor envolvido, com o objetivo de definir o contexto dos dados em que os diversos sistemas funcionam.

Este modelo agrupa objetos da mesma natureza em classes, permitindo uma visão integrada do espaço modelado através da determinação das Classes Georreferenciadas e Convencionais.

As representações adquiridas na fase conceitual serviram de embasamento para o desenvolvimento do próximo nível, pois estas foram utilizadas como ferramentas de apoio para definição da modelagem do banco de dados.

8.2.3 Nível de Representação

Neste nível identificou-se os objetos, suas características, seus relacionamentos com outros objetos, seu comportamento, operações e a distribuição dos atributos no desenvolvimento do modelo de banco de dados geográficos para Transporte Coletivo, conforme a notação gráfica do modelo OMT-G de BORGES (1997).

No desenvolvimento deste modelo, a representação gráfica dos dados e dos seus atributos, foi realizada utilizando o software Microsoft Visio 2003, no qual foi adicionado o *stencil* OMT-G (figura 19), criado por BORGES (1997).

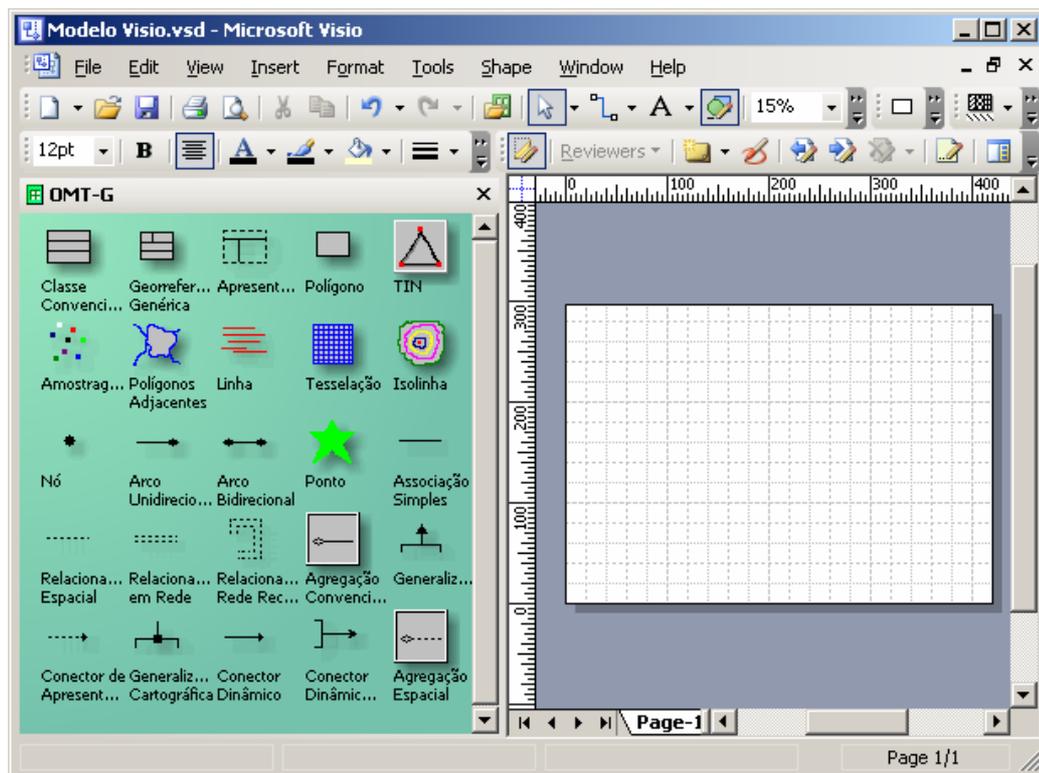


Figura 19 – *Stencil* OMT-G do software Microsoft Visio

Fonte: Software Microsoft Visio 2003

O modelo Conceitual de Banco de Dados Georreferenciados (figura 20), gerado neste nível foi de fundamental importância, pois, através dele foi possível ao desenvolvedor certificar-se com o usuário da compreensão das atividades referentes ao Transporte Coletivo.

As cores dos polígonos que identificam as classes do modelo OMT-G foram utilizadas com o objetivo de demonstrar, de uma forma geral, a abrangência do modelo, identificando outras secretarias ou autarquias do município que foram envolvidas, ao se modelar para Transporte Coletivo.

As classes com a cor amarela pertencem à secretaria responsável pelo planejamento do município; as rosas são referentes à identificação e digitalização dos logradouros no mapa que contém os eixos das vias da cidade; e as verdes, que se encontram mais detalhadas, são as classes pertencentes ao objeto de estudo do presente trabalho.

O modelo apresenta a classe de logradouros, o qual é formado por trechos, que são ligados por nós de trechos. Os trechos que possuem um tipo de via são compostos por segmentos de trechos, que são os trechos por onde trafegam os veículos, que por sua vez também estão ligados por nós de segmentos.

Em paralelo aos segmentos de trecho, existem os trechos de itinerários, ligados por nós de itinerário, por onde circulam os ônibus que fazem o percurso dos itinerários pertencentes a uma linha de ônibus. Os trechos de itinerários possuem pontos de parada, que estão localizados em frente aos lotes.

Os pontos de parada possuem especificações quanto ao tipo de material utilizado em sua construção e estes podem ou não possuir sinalização e abrigo.

Os lotes podem ser representados quanto a sua forma, por polígonos (perímetro), linhas (testada) ou pontos (localização pontual), dependendo da escala a ser utilizada e o nível de detalhe desejado. Os lotes possuem endereços pertencentes ao trecho e podem ou não possuir calçadas e edificações de diferentes tipos.

Os lotes agrupados definem uma quadra em forma de polígonos fechados, as quadras agrupadas constituem polígonos fechados denominados de setores, os quais subdividem um município em regiões. Os bairros são polígonos fechados que representam cada uma das partes em que se divide o município, porém não são delimitados por grupos de lotes.

O município, espaço geográfico modelado, inclui a representação de sua hidrografia, curvas de nível e a imagem em ortofotografia.

Na modelagem entre as classes da notação gráfica OMT-G foram utilizados os relacionamentos de associação simples, relacionamento espacial, agregação espacial, relações topológicas de rede, generalização cartográfica pela forma, generalização espacial disjunta total e cardinalidade.

As descrições das classes convencionais e georreferenciadas utilizadas na Modelagem Conceitual de Dados para Transporte Coletivo (figura 20) e as suas representações encontram-se detalhadas na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição e tipos de representações das Classes e Objetos

Nome	Descrição	Representação
Abrigo	Indica a presença de construção de cobertura para abrigar os pontos de parada e os usuários do transporte coletivo	Ponto
Bairro	Polígono que representa cada uma das partes em que se divide a cidade	Polígonos
Calçada	Identifica a presença de blocos de concreto ou pedra colocados entre a testada do lote e a pista de rolamento	Polígonos
Curvas de Nível	Interseções da superfície topográfica com os planos de nível dispostos a intervalos regulares	Isolinha
Edificação	Construções que estão localizadas dentro dos lotes	Polígono
Edificação Tipo	Indica o tipo de edificação construída no lote	Alfanumérico
Hidrografia	Representação dos rios, córregos, bacias hidrográficas, dentre outros	Polígonos Adjacentes
Itinerário	Percurso percorrido pelas linhas de ônibus entre bairros	Alfanumérico
Linha Ônibus	Identificação da linha de transporte coletivo percorrida pelo itinerário e suas características	Alfanumérico
Linha Tipo	Identificação do tipo de linha de ônibus, o qual determina a forma de percurso do itinerário (circular, radial, diametral...)	Alfanumérico
Logradouro	Espaços livres destinados à circulação pública e aos veículos, uso comum do povo ou ao uso especial. Pode ser constituído de vias, praças jardins parques, reservas ambientais, unidades de proteção ambiental e obras urbanísticas de qualquer natureza	Alfanumérico
Logradouro Tipo	Identificação do tipo de logradouro existente. Pode ser constituído de rua, avenida, praça, viela, alameda, dentre outros	Alfanumérico
Lote	Porção de terreno edificado ou vago pertencente a uma determinada quadra, cuja testada é voltada a um trecho de logradouro	Polígono Ponto Linha
Material	Identificação do material utilizado para a construção do ponto de parada ou de seu abrigo	Alfanumérico
Município	Limite de Município, divisa da circunscrição administrativa territorial	Polígonos
Nó Segmento	Conexão entre segmentos de trecho de circulação que ajuda na localização do endereço de logradouro	Nó

Nó Itinerário	Conexão entre trechos de itinerários percorridos pelos ônibus	Nó
Nó Ponto Parada	Identifica a localização do ponto de parada no trecho itinerário	Nó
Nó Tipo	Identificação do tipo de nó que conecta os trechos	Alfanumérico
Nó Trecho	Conexão entre trechos de logradouros	Nó
Ortofoto	Imagem fotográfica retificada	Tesselação
Ponto de Parada	Local onde os ônibus estão autorizados a pararem para o embarque e desembarque de passageiros	Ponto
Prolongamento	Percurso adicional relativo ao itinerário percorrido pela linha de ônibus que varia de acordo com os dias e horários gerando a alteração no trajeto	Alfanumérico
Quadra	Polígono que representa a parcela ou divisão de terrenos, delimitado por logradouros públicos e pertencentes a um setor	Polígonos
Segmento Trecho	Menor referência do eixo de logradouros, por onde os veículos estão autorizados a circularem e que fornece o sentido de tráfego	Linha unidirecionada
Sentido	Indica a direção do itinerário percorrido pelas linhas de ônibus	Alfanumérico
Setor	Divisa de subdivisão de uma região	Polígonos
Sinalização	Sinalização informativa quanto ao uso do transporte coletivo localizada nas proximidades do ponto de parada	Alfanumérico
Sinalização Tipo	Tipo e posicionamento de sinalização utilizada para auxiliar o usuário e condutor do transporte coletivo	Alfanumérico
Trecho	Parte da malha viária definida entre dois nós da rede viária. São segmentos de retas, interligados por nós, que representam o eixo dos logradouros, tendo sido implantados para georreferenciar outros componentes da via e facilitarem a indexação espacial geográfica. Responsável pela identificação do endereço de logradouro	Linha unidirecionada
Trecho Itinerário	Trecho por onde os ônibus estão autorizados a circularem desde que obedçam ao sentido do tráfego	Linha unidirecionada
Vias	Indica os tipos de vias que constituem os trechos de logradouros	Alfanumérico

Definiu-se com o auxílio dos usuários as representações gráficas a serem utilizadas na inserção dos dados gráficos no mapa digital.

Utilizando a ferramenta SIG SPRING, acessando o menu Cadastral, na opção Edição Vetorial abre-se a caixa de diálogo Edição Topológica. Nessa caixa, ao clicar no botão Visual, acessa-se uma outra caixa de diálogo denominada Visuais de Apresentação Gráfica (figura 21), onde é permitido definir a representação visual desejada dos Trechos de Itinerários, Ponto de Parada e Abrigo, quanto à forma, cor e espessura.

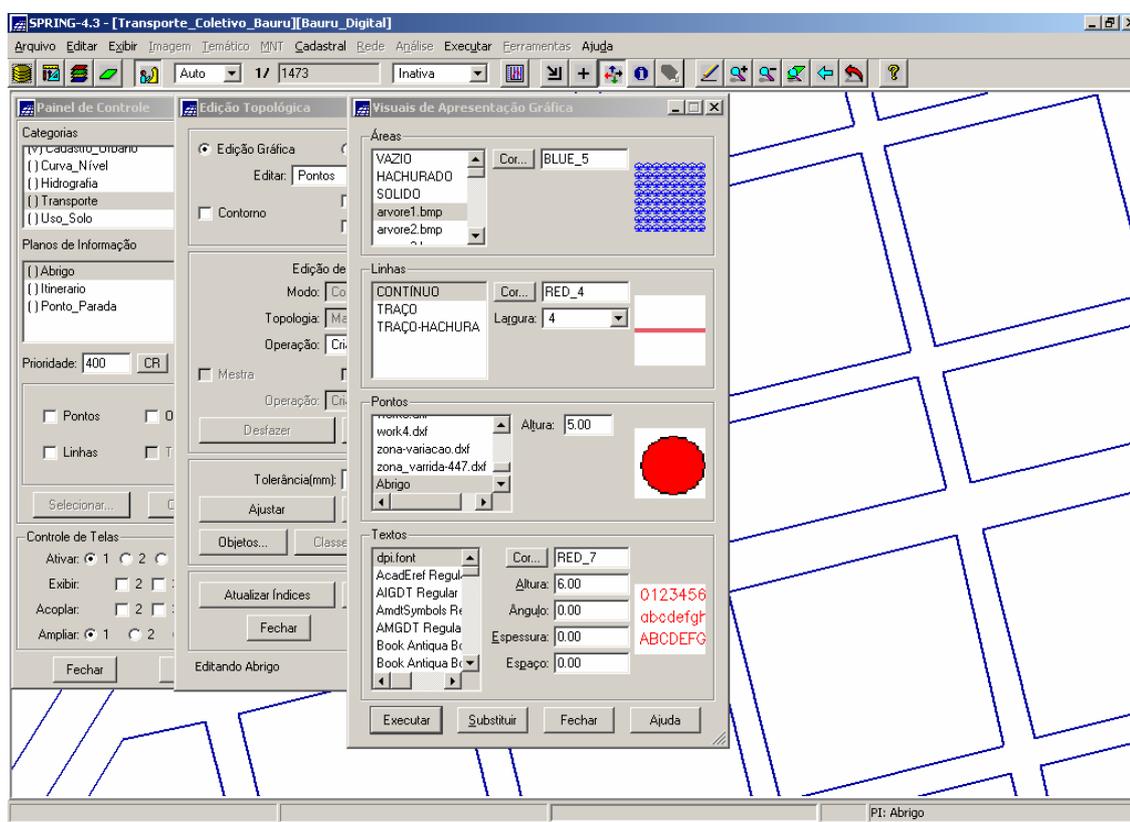


Figura 21 – Visuais de Apresentação Gráfica

Para a representação dos Trechos de Itinerários, foi definido o uso de Linha contínua, cor Red_4 de espessura 4.00.

Para a representação do Ponto de Parada e Abrigo foram criados os símbolos PontoPar e Abrigo com a extensão .bmp no software Microsoft Paint. Os símbolos foram inseridos na pasta do SPRING no caminho C:\Arquivos de programas\spring43_Port\etc\chart\bitmaps, os quais foram utilizados no software SIG SPRING, quando da definição da representação visual dos objetos geográficos.

Assim, definiu-se a representação pontual denominada PontoPar.bmp, cor amarela de peso 10.00 para identificar o Ponto de Parada e para o Abrigo foi definida a representação pontual denominada Abrigo.bmp, cor vermelha de peso 5.00.

De uma forma geral, adotou-se que a escala 1:5.000 seria utilizada para impressão das aplicações mais detalhadas, e para as aplicações mais abrangentes contidas no perímetro urbano, utilizar-se-ia a escala 1:15.000, estando sujeita porém, ao desejo do usuário e o propósito de sua utilização, que poderiam alterar e definir novas escalas e níveis de informação a serem visualizados.

8.2.4 Nível de Implementação

As representações definidas no modelo de banco de dados geográficos desenvolvido no nível de representação foram implementadas no SIG SPRING, através da aplicação, deste modelo conceitual, em um projeto piloto para o transporte coletivo urbano do município de Bauru.

Através do SPRING, utilizando a base cartográfica digital da cidade adquirida na UNESP - Bauru, iniciou-se a criação de um Banco de Dados denominado Transporte_Coletivo_Bauru e definiu-se a utilização do SGBD Access para auxiliar na organização, armazenamento e recuperação eficiente dos dados.

O Projeto denominado Bauru_Digital, possui sistema de projeção UTM/SAD 69, e o retângulo envolvente em Coordenadas Planas (metros) é constituído pelos seguintes pontos: X1 = 686000, X2 = 713000, Y1 = 7519000, Y2 = 7539000 (figura 22).

As Categorias, os Planos de Informação (PI) e Atributos ou Classes Temáticas, referentes ao Transporte Coletivo, foram criados baseados no modelo conceitual desenvolvido no nível de representação.

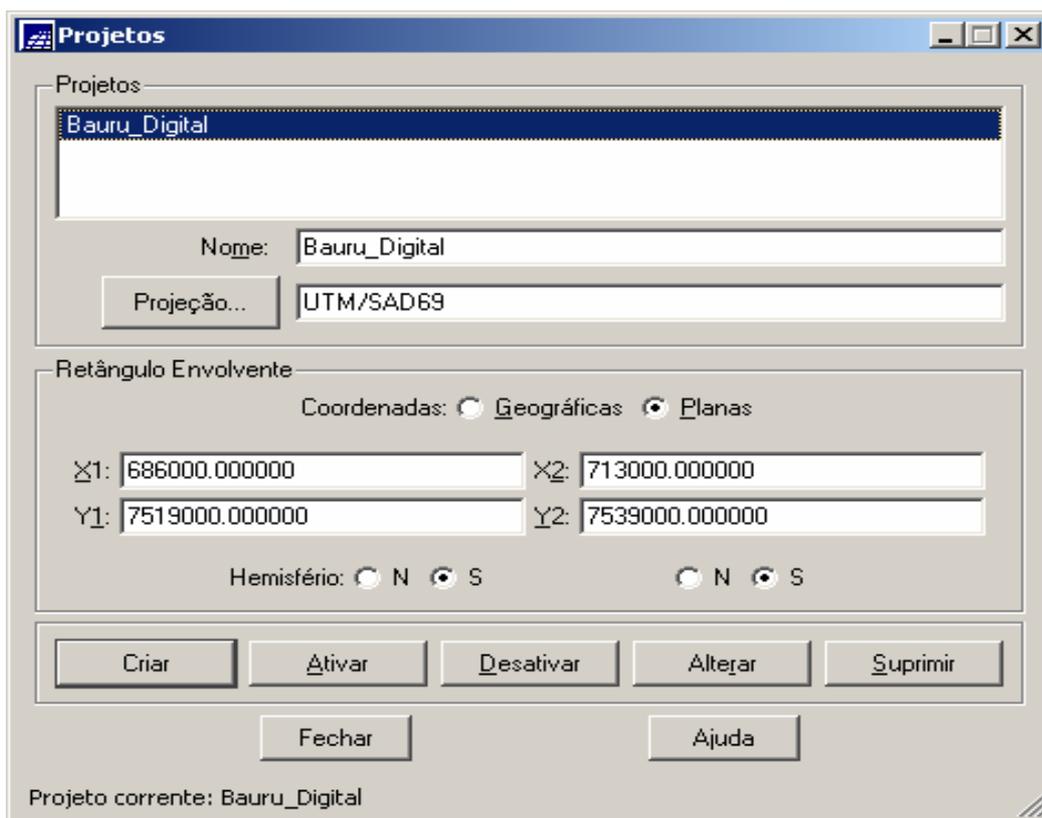


Figura 22 – Dados de Referência Geográfica do Projeto

A tabela 2 mostra as Categorias, Modelos e Planos de Informação utilizados pelo SPRING, alguns criados quando do desenvolvimento da base digital adquirida, outros, referentes ao Transporte Coletivo Urbano, que foram criados mediante a aplicação do projeto piloto.

As classes e atributos referentes ao transporte coletivo, considerados mais relevantes à pesquisa proposta, foram detalhados conforme as tabelas de A a T do anexo1.

No modelo OMT-G gerado, os nomes dos atributos das classes excedem o número máximo de caracteres permitidos no SPRING. Por este motivo, na implementação do modelo, foi necessário diminuir o tamanho dos nomes dos atributos ao defini-los nas categorias objeto, para atender à exigência do SIG SPRING, que permite o máximo de oito caracteres na definição do nome do atributo.

Tabela 2 - Descrição das Categorias

<i>CATEGORIA</i>	<i>MODELO</i>	<i>PI</i>
Cadastro Urbano	Cadastral	Mapa_Quadra
		Mapa_Eixo_Viário
Zoneamento	Cadastral	Mapa_Zoneamento
Curva_Nível	MNT	Curvas_nível
Hidrografia	Temático	Mapa_Hidrografia
Uso_Solo	Temático	Mapa_Uso_Solo
Transporte	Cadastral	Itinerário
		Ponto_Parada
		Abrigo
TreItinerario_Obj	Objeto	
Abrigo_Obj	Objeto	
PontoParada_Obj	Objeto	
Buffer	Temático	Itinerário

Alguns dados coletados no nível de abstração, junto a EMDURB, foram disponibilizados em formato digital e outros em formato analógico.

Os dados em formato analógico foram inseridos acessando o menu Editar, na opção Objeto, através da caixa de diálogo Editar Objetos do SPRING (figura 23), ou através de telas de acesso ao Banco de Dados Access, a fim de facilitar a manipulação dos mesmos.

Os dados em formato digital estavam incompletos e não atendiam o formato das tabelas do Banco de Dados, havendo assim a necessidade de digitá-los no SPRING, da mesma maneira como foram inseridos os dados em formato analógico.

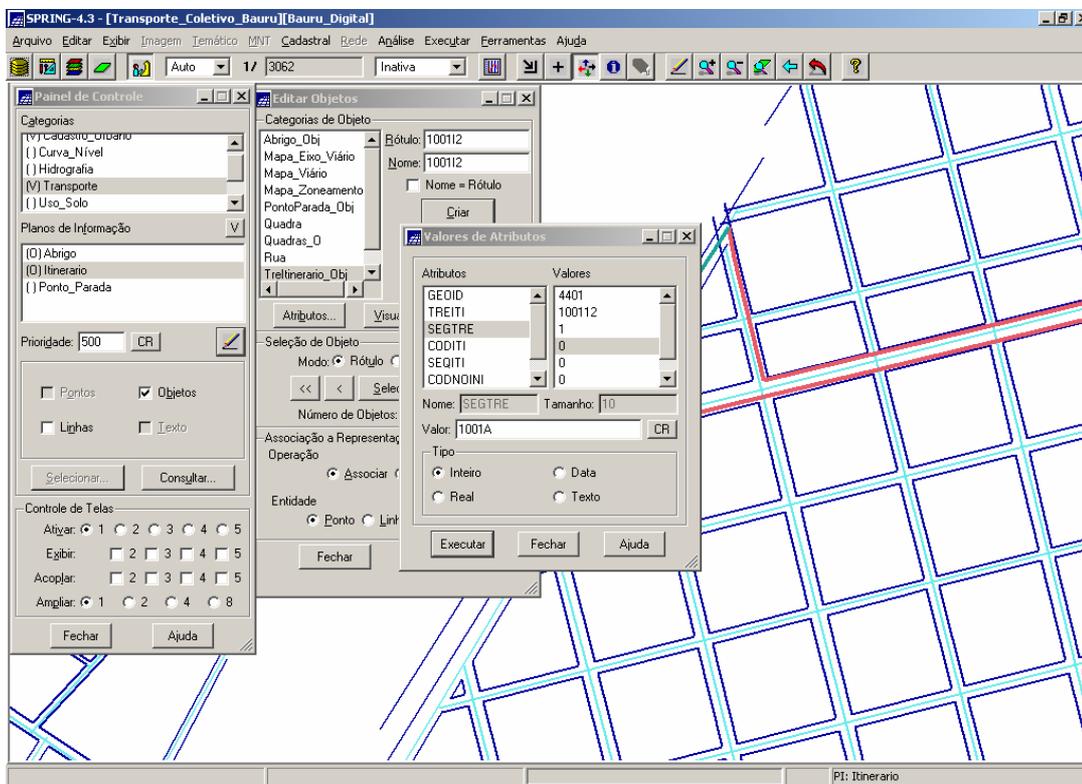


Figura 23 – Inserção de dados analógicos

Através de mapa analógico fornecido pela EMDURB, contendo o percurso da linha do ônibus, foi possível consultá-lo digitalizar seu itinerário, e seus respectivos pontos de parada e abrigos.

Selecionando a Categoria Transportes e o PI Itinerário, acessou-se o menu Cadastral e a opção Edição Vetorial para se obter a caixa de diálogo Edição Topológica.

Nessa caixa optou-se por editar linhas no modo Passo e utilizar a operação criar linha, para desta forma, iniciar a digitalização do trecho do Itinerário. Ao finalizar a digitalização de cada trecho foi necessário associar a entidade gráfica digitalizada com os objetos não gráficos, definidos no Banco de Dados.

Essa associação foi possível, ao clicar o botão Objetos da mesma caixa de diálogo, tendo acesso à caixa de diálogo Editar Objetos (figura 24), onde selecionando a categoria objetos TreItinerário_Obj, realizou-se a operação de associação à entidade linha digitalizada.

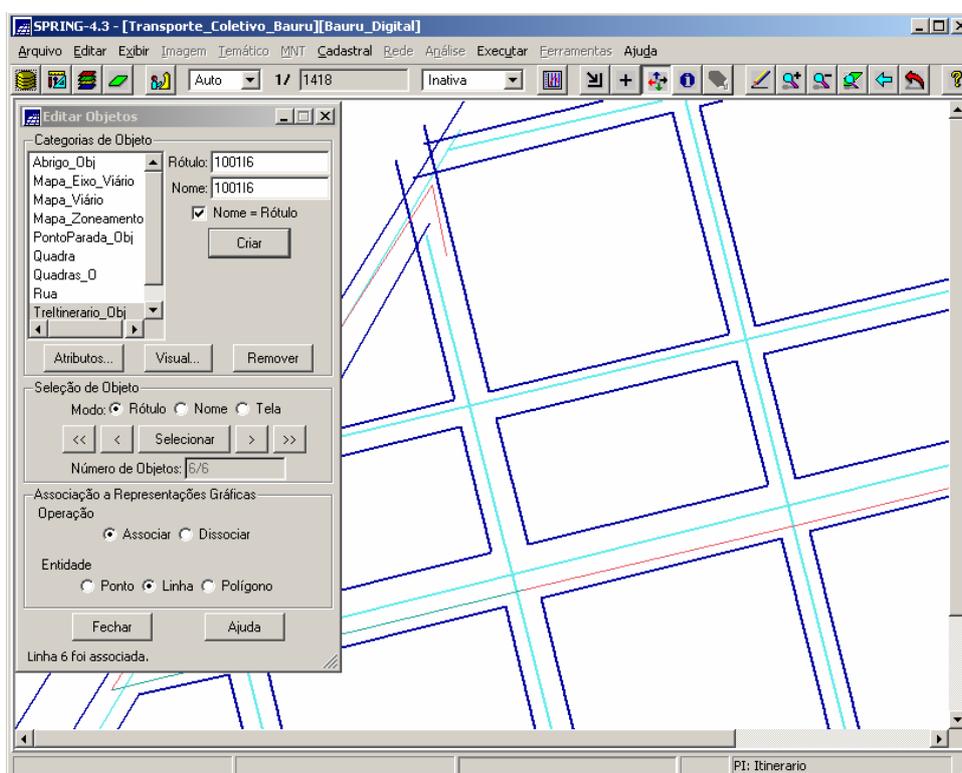


Figura 24 - Associação dos dados gráficos com não gráficos

Para a inserção dos pontos de parada e abrigos foi adotado o mesmo procedimento de inserção, tendo a precaução de alterar o PI no painel de controle, e no momento da associação alterar a categoria objetos, conforme o objeto geográfico a ser inserido e associado (figura 25).

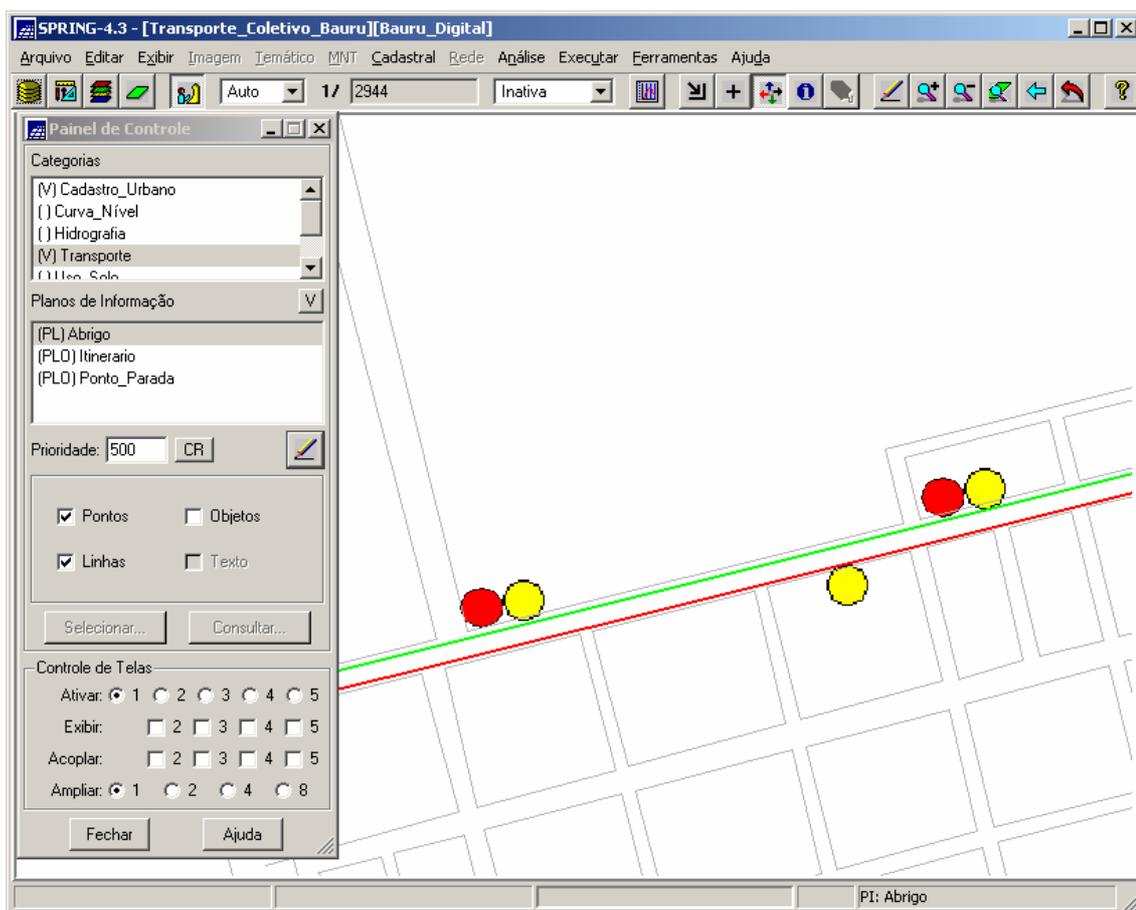


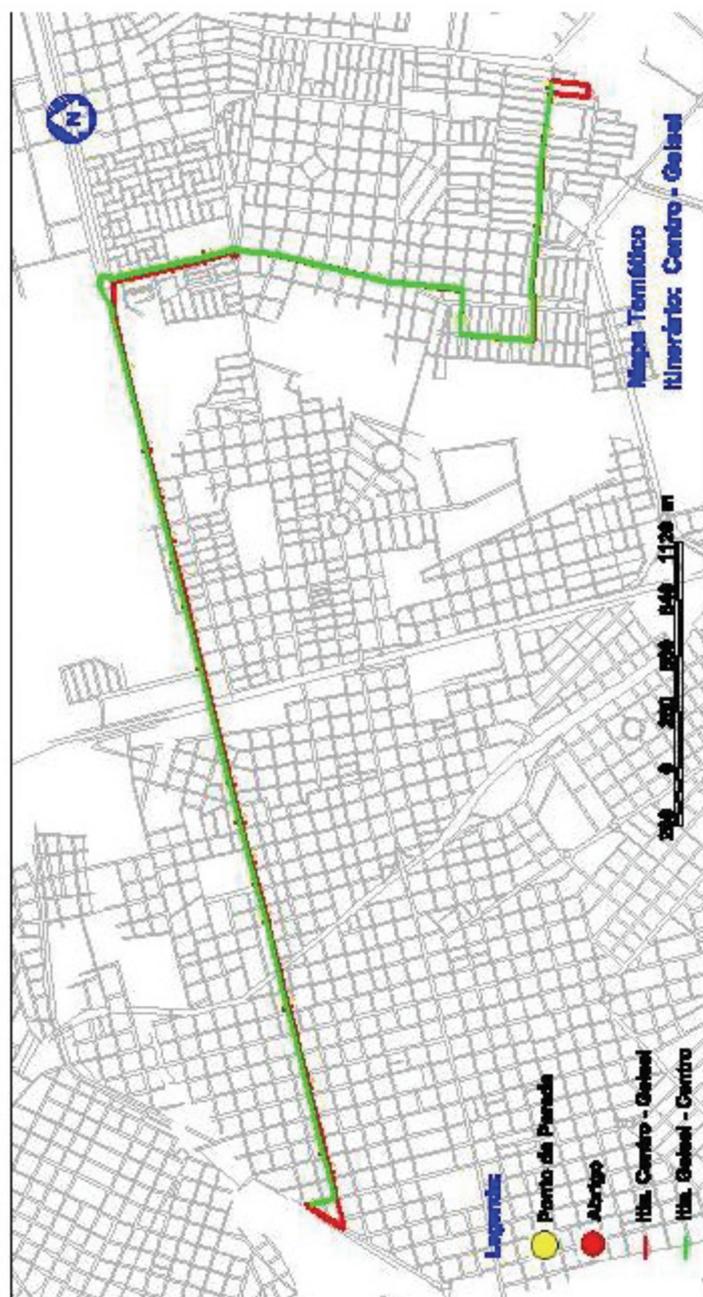
Figura 25 – Inserção dos Pontos de Parada e Abrigos

Para efeito de exemplificação foram realizados e demonstrados apenas alguns ensaios, consultas e análises para mostrar o potencial da ferramenta SPRING em obter os resultados para subsidiar o administrador no que se refere à gestão e operação do Transporte Coletivo Urbano.

O itinerário utilizado para exemplificação denomina-se Centro – Geisel, é uma linha tipo radial, com 17,6 km de extensão, possui 58 pontos de parada, sendo que destes, apenas 28 possuem abrigo.

Gerou-se um mapa temático do Itinerário Centro - Geisel, demonstrando a digitalização dos trechos de itinerário da linha de ônibus, seus pontos de parada e abrigos, conforme pode ser visto na figura 26.

Figura 26 - mapa temático itinerário centro



O traçado deste mapa temático, foi digitalizado em paralelo ao trecho de logradouro (Mapa_Eixo_Viário) e possui duas cores que identificam o sentido do itinerário. Para identificar o sentido ida (Centro - Geisel), utilizou-se o traçado da linha na cor Red_7 e para identificar o sentido volta (Geisel - Centro), utilizou-se a cor Green_1, ambos com espessura de 2.00.

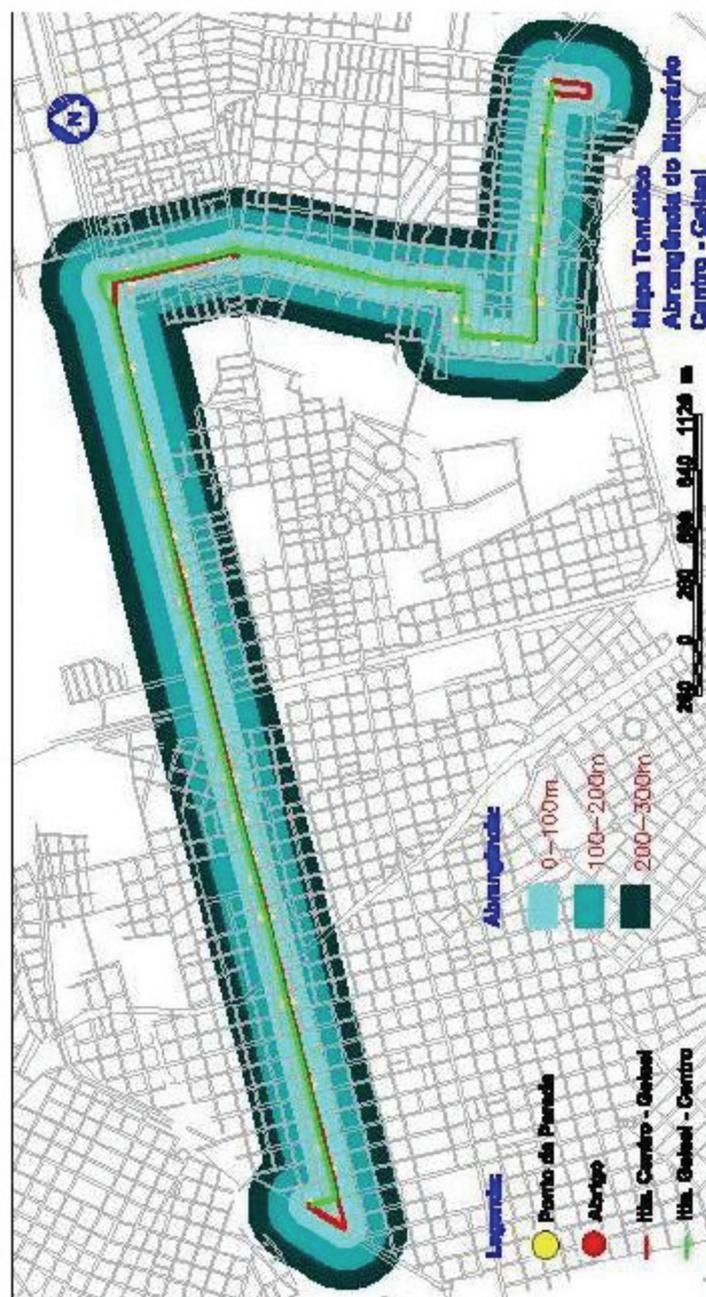
A representação pontual de cor amarela identifica o ponto de parada, e a representação pontual na cor vermelha é referente ao abrigo pertencente ao ponto de parada. A junção dos itinerários de ida e volta identifica a localização do ponto de parada inicial e final do itinerário.

Um outro mapa temático foi gerado para evidenciar a área de abrangência do itinerário tomado como modelo, demonstrando assim, a possibilidade de verificar a efetividade da cobertura espacial em termos de acessibilidade ao cliente. Com este tipo de mapa temático é possível analisar a área de influência das linhas ofertadas (figura 27).

Para representar a abrangência do atendimento do itinerário Centro_Geisel, foram definidas classes distintas de 100 m, até um total de 300 m de cobertura, do itinerário digitalizado. As três classes possuem a área de cobertura de 100 m cada, e sua área de abrangência é identificada pela coloração da classe, conforme pode ser visto na legenda da figura 27.

Os mapas temáticos foram impressos utilizando o módulo Scarta do SPRING na escala 1:14000.

Figura 27 - mapa de abrangência



A figura 28 demonstra a consulta espacial de itinerários que trafegam a uma distância estabelecida de 100 m de um dado endereço de logradouro. Com o PI Mapa_Eixo_Viário ativo, cria-se uma coleção no SPRING através de uma expressão lógica que é gerada fornecendo o nome ou rótulo de um determinado logradouro e utilizando de atributos e operações oferecidas.

Utilizando-se dessa coleção gerada, foi realizada uma consulta espacial, para verificar quais itinerários que, a uma distância de 100 m, possuíam percurso próximo a este logradouro. Comparou-se a coleção gerada com os objetos Tre_Itinerário do PI Itinerário, gerando uma nova seleção, contendo os itinerários que atendiam as exigências da consulta espacial.

O resultado da consulta é demonstrado na figura 28, onde consta o logradouro informado na cor rosa e o itinerário que possui o percurso a uma distância de 100m, do local informado, na cor vermelha e seus respectivos pontos de parada na cor amarela.

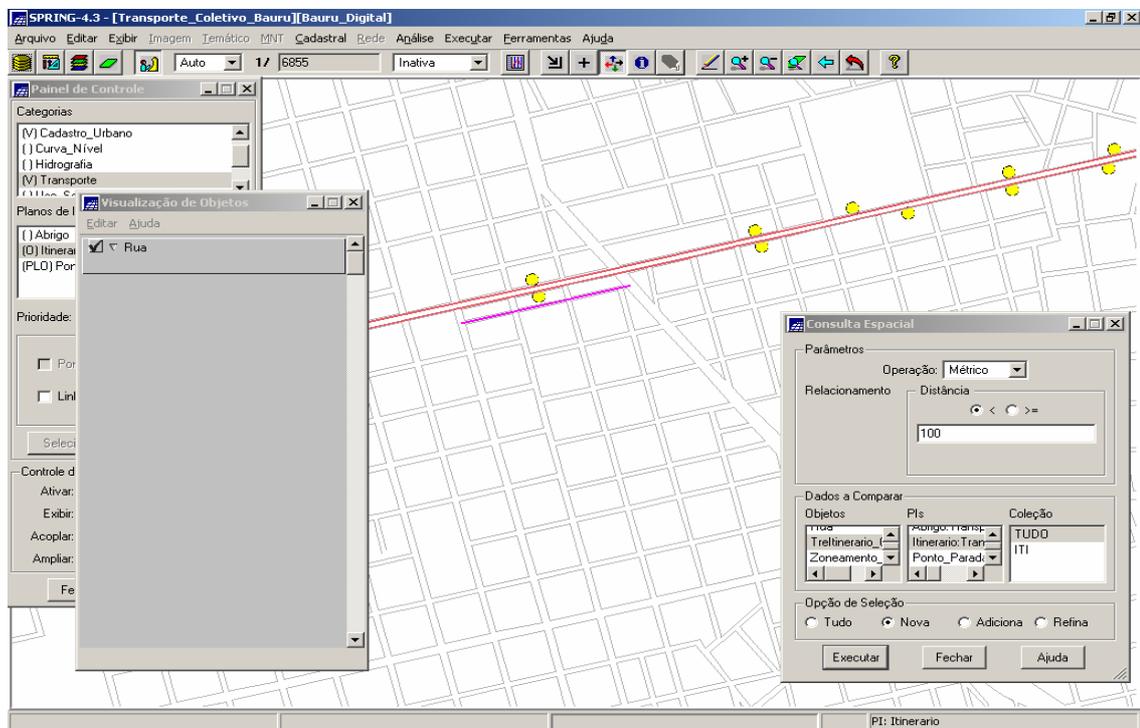


Figura 28 - Consulta por Atributos

Embora, os mapas temáticos sejam compostos de apenas um itinerário, através destes fica demonstrada a possibilidade, de que, se digitalizados todos os itinerários ofertados, o gestor venha a obter uma leitura da real cobertura espacial do transporte coletivo no município e à acessibilidade do munícipe ao mesmo.

A consulta espacial de acesso aos itinerários, realizada através da informação de um endereço de logradouro é muito útil no serviço de atendimento ao passageiro, em termos de agilidade e precisão. Este tipo de consulta poderá ser realizado utilizando outros atributos, como número ou nome do itinerário, constantes do banco de dados.

Uma vez carregadas todas as informações referentes ao Transporte Coletivo, a sua manutenção passará a ser efetuada de forma digital, sempre realizando as associações do dado gráfico ao seu atributo, utilizando para isso os softwares propostos, SIG SPRING e SGBD Access, permitindo ao gestor uma visão espacial e clara do objeto, podendo este definir consultas e mapas temáticos segundo seu interesse.

9 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a modelagem de banco de dados georreferenciados, devido a sua grande importância no desenvolvimento de aplicações SIG, e esta poderá ser utilizada pelas administrações municipais na gestão do Transporte Coletivo Urbano.

A aplicação deste modelo conceitual foi realizada, ainda que parcial, em um projeto piloto, no município de Bauru - SP. Foi utilizado o SIG SPRING e o banco de dados Access para inserção dos dados referentes ao Transporte Coletivo do município.

Na abstração do mundo real, quando do levantamento das necessidades e requisitos dos usuários, houve total colaboração dos funcionários do Departamento de Transportes do município de Bauru, que forneceram os dados e documentos necessários, facilitando sobremaneira a análise e o desenvolvimento do modelo.

Na aplicação da modelagem, quando do uso do SIG SPRING, não foi encontrada disponível, simbologia de forma simples com preenchimento sólido, para representar o ponto de parada e o abrigo do itinerário no mapa temático. Portanto, sugere-se a inserção, neste SIG, deste tipo de simbologia, para que possam atender as necessidades de representações adequadas dos objetos geográficos.

Embora as características geográficas tornem a modelagem mais complexa que a convencional, de uma forma geral, o modelo OMT-G mostrou-se capaz de representar as particularidades dos dados geográficos referentes ao Transporte Coletivo, mantendo maior clareza e facilidade de representação no modelo apresentado.

O Microsoft Visio, como ferramenta utilizada para gerar as representações dos modelos apresentados, foi considerado adequado. Quando do desenvolvimento do modelo OMT-G, foi adicionado ao Visio o *stencil* OMT-G, criado

por BORGES (1997), o qual atendeu corretamente às necessidades de representações em aplicações geográficas para Transporte Coletivo.

Com a aplicação do modelo desenvolvido em um projeto piloto, foi possível realizar consultas e análises, possibilitando mostrar em parte, o potencial do SPRING, o qual se mostrou uma ferramenta SIG eficaz para ser utilizada, em administrações municipais, auxiliando na gestão de transportes, sem a necessidade de alocar recursos financeiros para esse propósito, pois se trata de uma ferramenta de domínio público.

Embora a presente aplicação tenha sido realizada em projeto piloto, utilizando apenas um itinerário como modelo, verifica-se através dos mapas temáticos gerados que, quando digitalizados os demais itinerários, é possível se obter uma leitura real dos percursos e abrangência dos itinerários e da acessibilidade dos municípios a estes.

Muitas outras análises poderão ser realizadas, fornecendo uma visualização mais rápida, ágil e global do transporte coletivo, conforme o desejo do gestor.

A aplicação de SIG quando modelada, cria possibilidades de se ter gestores e municípios melhores informados através da visualização da disposição espacial da operação e da eficiência relativa dos itinerários.

Mediante o exposto, é possível afirmar que a escolha da técnica e a aplicação da modelagem foram adequadas com relação ao problema tratado. A utilização do SPRING e do SGBD Access também se mostrou satisfatória, oferecendo resultados compatíveis com a aplicação.

Finalmente, diante dos resultados positivos apresentados, acredita-se que tal modelagem representa uma contribuição importante para a melhoria dos sistemas de informação que favorecem tanto ao gestor como ao passageiro do transporte coletivo urbano.

10 REFERÊNCIAS

ANTENUCCI, J. C. et al. *Geographic Information Systems: a guide to the technology*. New York: Chapman & Hall, 1991.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. *Transporte Humano: cidades com qualidade de vida*. São Paulo: ANTP, 1997.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. *O Transporte Público e o Trânsito para uma cidade melhor. Projeto Transporte Humano*. São Paulo: ANTP, 2002.

ARONOFF, S. *Geographical Information System: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications, 1989.

BARBOSA, P. C. M. *SIG para Planejamento e Gestão Urbanos – Projeto Piloto para Ribeirão Preto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

BERTINI, G. C.; CÉZAR, J. N. *Uma Modelagem Orientada a Objeto para o Mapa Urbano Básico de Belo Horizonte (MUB/BH)*. Disponível em:
<<http://www.ip.pbh.gov.br/revista0601/modelagem%2000.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2005.

BLAHA, M.; PREMERLANI, W. *Object-oriented Modeling and Design for Database Applications*. Upper Saddle Rive, Prentice-Hall, 1998.

BORGES, K. A. V. *Modelagem de Dados Geográficos: Uma extensão do Modelo OMT para aplicações Geográficas*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Informação). Escola do governo. Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.

BORGES, K. A. V. *Modelagem de Dados Geográficos*. São Paulo: GEOBrasil/Curso C – 03, 2002.

BORGES, K. A. V; DAVIS Jr. C. A; LAENDER, A. H. F. *Modelagem Conceitual de Dados Geográficos*. In: Banco de Dados Geográficos. Disponível em:
<<http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/material.html>>. Acesso em 25 set 2005.

BORGES, K. A. V; C. A; LAENDER, A. H. F. *Geo-OMT – Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas*. In: IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1997. Anais... 1997. p. 252

BURROUGH, P. Principles of Geographical Information Systems for Land e Resources Assessment. Oxford, Clarendon Press, 1989.

CAETANO, D. J.; GUALDA, N. D. F. Desenvolvimento de um Sistema de Informações de Apoio ao Usuário de um Sistema de Transporte Coletivo. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife - Pe. p. 753-762.

CÂMARA, G. Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Banco de Dados Geográficos. Tese (Doutorado em Computação). INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1995.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. Sistemas de Informações Geográficas. In: Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS Jr. C. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Fundamentos de Geoprocessamento. Belo Horizonte, 1999.

CAMARGO, M. U. C. Sistemas de Informações Geográficas como Instrumento de Gestão e Saneamento. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

CHEN, P. Modelagem de Dados: a abordagem entidade-relacionamento para projeto lógico. São Paulo: MacGraw-Hill/Makron, 1990.

COUGO, P. S. Modelagem Conceitual e Projeto de Banco de Dados. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; BARTOLI, S. P.; YAMASHITA, Y. Aplicações dos Sistemas de Informações Geográficas em Transporte sob Enfoque da Análise Espacial. In: IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Anais, 1997.

DATE, C.J. An Introduction to Database Systems, Addison-Wesley, 8th edition, 2003.

DAVIS Jr., C. A.; BORGES, K. A. V. GIS Orientado a Objetos na Prática. In: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, 1994. São Paulo. Anais do GIS Brasil '94.

DIAS, R. W. Sistemas de Informações Geográficas Conceitos e Alternativas para a Realidade Brasileira: a experiência do SIGPEL, em Pelotas, RS. In: Congresso Brasileiro de Cartografia - CBC, XV, 1991, São

Paulo – São Paulo. Anais... Rio de Janeiro: Companhia Brasileira de Artes Gráficas, 1991, 682p., p.607-613.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. Fundamentals of Database Systems. Redwood City: Benjamin/Cummings, 1994.

EMDURB - Empresa de desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru. Disponível em: <<http://www.emdurb.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2004a.

EMDURB - Empresa de desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru. Transporte Coletivo em Bauru - 1º Encontro Municipal de Transporte Coletivo. Bauru: Sesi, 2004b.

FERRARI, R. Viagem ao SIG: Planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica. Curitiba: Sagres, 1997.

FERRAZ, A. C. C. P. As cidades e o Transporte. In: _____. Escritos sobre Transporte, Trânsito e Urbanismo. Ribeirão Preto: São Francisco, 1998a. p. 179.

FERRAZ, A. C. C. P. Priorização do Transporte Coletivo Urbano. In: _____. Escritos sobre Transporte, Trânsito e Urbanismo. Ribeirão Preto: São Francisco, 1998b. p. 295.

FERRAZ, A.C.C.P.; RAIA Jr., A.A.; KFOURI, E. V. A importância do Transporte Público. In: FERRAZ, A. C. C. P. (Org.). Escritos sobre Transporte, Trânsito e Urbanismo. Ribeirão Preto: São Francisco, 1998. p. 23.

FERRAZ, A. C. C. P. Transporte Público Urbano. Ribeirão Preto: São Francisco, 1999.

FERRAZ, A. C. C. P.; TORRES, I. G. E. Transporte Público Urbano. São Carlos: Rima, 2004.

FERREIRA, A. Introdução ao Oracle – SQL Magazine. Disponível em: <http://www.sqlmagazine.com.br/artigos/oracle/01_Intro_Oracle.asp>. Acesso em: 13 mar. 2006.

FONSECA, V. I. P. S. Modelagem de um Banco de Dados para Implantação de um SIG para Suporte ao Plano de Desenvolvimento Institucional da UFSCar. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GANE, C.; SARSON, T. Análise Estruturada de Sistemas. Rio de Janeiro: LTC, 1989.

GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Campinas: UNICAMP/ Curso de Gerenciamento de Transportes Urbanos, 1996. Módulo – Transporte Público.

HENRIQUE, C. S.; LOUREIRO, C. F. G. Caracterização Espacial da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife - Pe. p. 325-337.

HUXHOLD, W. E. An Introduction to Urban Geographic Information Systems. New York: Oxford University Press, 1991.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Geoprocessamento ao alcance de todos. São José dos Campos, 2002. CDROM. SPRING 4.0 - Plataforma Windows.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Introdução ao Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>> . Acesso em: 10 mai. 2004a.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. ARSIG - Análise de Redes com Sistemas de Informações Geográficas. Disponível em: <<http://www.lac.inpe.br/~marcos/arsig>>. Acesso em: 18 jun. 2004b.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Consulta a Banco de Dados – Modelo de Dados Geo-Relacional. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/indicec.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2005.

KAGAN, H.; ROSSETO, C. F.; CUSTÓDIO, P. S.; MARTINS, W. C. Uso de Sistemas de Informações Geográficas no Planejamento de Transportes. In: Congresso Nacional da ANPET, 6, RJ, 1992. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, v. II, p. 894-909.

KERN, M. V. Banco de Dados Relacionais: Teoria e Prática de Projetos. São Paulo: Érica, 1994.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Adaptando o Modelo de Objetos OMT para Modelagem Conceitual de Aplicações em SIG. In: 1ª Semana Estadual de Geoprocessamento, 1996. Anais... Rio de Janeiro: 1996. p. 99-108.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; HASENACK, H.; WEBER, E.J. Modelagem Conceitual de Banco de Dados Geográficos: o estudo de caso do Projeto PADCT/CIAMB. In: Energia e Meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

MAGUIRE, D. J. et al. Geographical Information Systems: Principles and Applications. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

MARTIN, J. Princípios de Análise e Projeto Baseados em Objetos. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

MUNARI, A.C.B. Modelagem de Dados Básica. Disponível em:
<<http://www.sqlmagazine.com.br/apostilas.asp>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

MySQL - Developer Zone. . Disponível em: < <http://dev.mysql.com/doc/refman/4.1/pt/what-is.html>>. Acesso em: 15 set. 2006.

NASSI, C. D.; SANTOS, M. P. S.; BODMER, M.; ORRICO FILHO, R. D.; GAVA, R. M. Adaptação Gráfica de uma Base Cartográfica de um Município Voltada para os Problemas de Transporte Público. In: VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1994, Recife - Pe. Anais, ANPET. p. 541-556.

NUNES, F. L. S. Introdução à Engenharia de Software. Apostila do Curso de Especialização em Sistemas de Informações para Internet. Bauru: Universidade Coração de Jesus, 2002.

OLIVEIRA, D. P. R. Sistemas de Informação Gerenciais: estratégicas, táticas, operacionais. São Paulo: Atlas S.A., 1996.

PAREDES, E. A. Sistema de Informação Geográfica: princípios e aplicações (geoprocessamento). São Paulo: Érica, 1994.

PMB - Prefeitura Municipal de Bauru. Dados Geográficos. Disponível em:
<<http://www.bauru.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 abr. 2004.

PRADO, V. M.; SILVA, F. G. F.; YAMASHITA, Y. Análise da eficiência Técnica Relativa das Linhas do Transporte Público Urbano Utilizando Análise Envoltória de Dados e Análise Espacial. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife - Pe. p. 241-249.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. Banco de Dados Geográficos. São Paulo: GEOBrasilSummit/Tutorial 1, 2006.

RAIA Jr., A. A. Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Transportes). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2000.

RAIA Jr., A. A. SIG Aplicado ao Trânsito, Transporte e Logística. São Carlos: UFSCar/ Curso de pós-graduação em Geoprocessamento – Ngeo, 2002. Módulo10.

RAMOS, F. M. E.; COSTA, A. M.; SARKOZY, A. Sistema de Informações Geográficas como Ferramenta Gerencial na Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo – EMTU. In: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 1999, Recife - Pe.

RIBEIRO, H. E. G. Alternativas Tecnológicas para o Acesso do Município aos Dados Geográficos de Transporte e Trânsito do Município de Belo Horizonte. Monografia (Curso de pós-graduação em Informática Pública). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2003.

RODRIGUES, M. Constatações sobre Projetos SIG. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, IV, 1997, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP/LABGEO, 1997 p. 629-636.

RODRIGUES, M.; ALMEIDA, O. W. R. Modelagem de Dados Espaciais para Sistemas de Informações Geográficas. In: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, 1994 – São Paulo. Anais do GIS Brasil '94.

RÖHM, S. A. O que é Sistema de Informações Geográficas. São Carlos: UFSCar/Curso de pós-graduação em Geoprocessamento – Ngeo, 2002. Módulo 1.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI W.; FREDERICK E.; LORENSEN W. Modelagem e Projetos Baseados em Objetos. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

SANTOS, L.; FERREIRA, D. L. Sistema de Informação Geográfica aplicado ao Planejamento de Trânsito e Transportes. Caminhos da Geografia – revista on line. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/caminho_de_geografia.html>. Acesso em: Jan. 2006.

SANTOS, M. Y.; AMARAL, L. A. Técnicas de Modelação de Informação Geográfica. Universidade do Minho. Departamento de Sistema de Informação. Guimarães, Portugal. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/2304/1/capsi2002-ig-mys-laa.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2005.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSAHN, S. Sistema de Banco de Dados. São Paulo: Makron Books, 1999.

SILVA, F. R. G. Modelagem de Dados do Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano para fins de Sistemas de Informações Geográficas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

SILVA, F. R. G. Dados, Informações e Banco de Dados. São Carlos: UFSCar/ Curso de pós-graduação em Geoprocessamento – Ngeo, 2002. Módulo 4.

SIQUEIRA, A. B. C.; CASSUNDÉ, V. I. M. O Geoprocessamento como Instrumento de Gestão de Transporte Coletivo na EMTU/Recife. In: VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1994 – Recife. Anais, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, v. 1, p. 551 - 556.

STT – Departamento de Sistema de Trânsito e Transporte. São Bernardo do Campo: Mercedes-Benz do Brasil S.A./ Curso de Planejamento e Operação, 1987. Apostila.

VIEIRA, M. G.; CUNHA, J. C. J.; BORGES, K. A. V.; DAVIS Jr., C. A. Atualização da Base Geográfica Digital: A Experiência de Belo Horizonte com o Percurso Urbano. In: V Congresso e Feira para usuários de Geoprocessamento da América Latina, 1999 - Salvador. Anais do GIS Brasil '99.

WETHERBE, J. C. Análise de Sistemas para Sistemas de Informação por Computador. Rio de Janeiro: Campus, 1987.

ZUPPO, C. A.; DAVIS Jr., C. A.; MEIRELLES, A. A. C. Geoprocessamento no Sistema de Transporte Urbano de Belo Horizonte. In Anais do GIS Brasil'96, p. 376-387, 1996.

ANEXOS

Anexo 1 - Classes e Atributos referentes ao Transporte Coletivo

Tabela A - Abrigo

Nome	Descrição
CodAbrigo	Código do abrigo do ponto de parada
CodMaterial	Código do tipo de material utilizado
LarguraAbrigo	Largura do abrigo
AlturaAbrigo	Altura do abrigo
ComprimentoAbrigo	Comprimento do abrigo
DtImplantaçãoAbrigo	Data da implantação do abrigo
DtManutençãoAbrigo	Data da manutenção do abrigo

Tabela B - Itinerário

Nome	Descrição
CodItinerário	Código do Itinerário da linha de ônibus
CodLinha	Código da linha de ônibus
CodSentido	Código do sentido do itinerário da linha de ônibus
CodProlongamento	Código do prolongamento do itinerário da linha de ônibus
IdentificaçãoPrincipal	Identificação principal do itinerário da linha de ônibus
IdentificaçãoSecundária	Identificação secundária do itinerário da linha de ônibus
IdentificaçãoLateral	Identificação lateral do itinerário da linha de ônibus
KilometragemItinerário	Quilometragem do itinerário percorrido pelo itinerário da linha de ônibus
CodPontoInicial	Código do ponto inicial do itinerário
CodPontoFinal	Código do ponto final do itinerário
DtInícioItinerário	Data do início do percurso do itinerário
DtTérminoItinerário	Data do término do percurso do itinerário

Tabela C - Linha

Nome	Descrição
CodLinha	Código da linha de ônibus
DescLinha	Descrição da linha de ônibus
CodTipoLinha	Código do tipo de linha de ônibus
DtInícioLinha	Data do início da operação da linha
DtAtualizaçãoLinha	Data da atualização da operação da linha de ônibus
ObservaçãoLinha	Observação da linha de ônibus

Tabela D - LinhaTipo

Nome	Descrição
CodTipoLinha	Código do tipo de linha
DescTipoLinha	Descrição do tipo de linha

Tabela E - Logradouro

Nome	Descrição
LogEixo	Código do logradouro de eixo
NomeLog	Nome do logradouro de eixo
CodTipoLog	Código do tipo do logradouro
NumDecretoLog	Número do decreto do logradouro
FolhaLog	Folha que consta o decreto do logradouro
DtDecretoLog	Data do decreto do logradouro
ObsLog	Observações do logradouro

Tabela F – Logradouro Tipo

Nome	Descrição
CodTipoLog	Código do tipo de logradouro
DescTipoLog	Descrição do tipo de logradouro

Tabela G - Material

Nome	Descrição
CodMaterial	Código do tipo de material utilizado para construção do objeto
DescMaterial	Descrição do tipo de material utilizado para construção do objeto

Tabela H - Nó Itinerário

Nome	Descrição
CodNó	Código do nó que conecta o trecho de itinerário
CodTipoNó	Código do tipo de nó que compõe o trecho de itinerário
Coord_X	Coordenada X onde localiza-se o nó itinerário
Coord_Y	Coordenada Y onde localiza-se o nó itinerário

Tabela I – Nó Ponto Parada

Nome	Descrição
CodNó	Código que identifica o nó
CodTipoNó	Código do tipo de nó que compõe o ponto de parada
Coord_X	Coordenada X onde localiza-se o nó de ponto de parada
Coord_Y	Coordenada Y onde localiza-se o nó de ponto de parada

Tabela J - Nó Segmento

Nome	Descrição
CodNó	Código do nó que conecta o segmento de trecho
CodTipoNó	Código do tipo de nó que compõe o segmento trecho
Coord_X	Coordenada X onde localiza-se o nó
Coord_Y	Coordenada Y onde localiza-se o nó

Tabela K - Nó Tipo

Nome	Descrição
CodTipoNó	Código do tipo de nó
DescTipoNó	Descrição do tipo de nó

Tabela L - Nó Trecho

Nome	Descrição
CodNó	Código do nó que conecta o trecho
CodTipoNó	Código do tipo nó que compõe o trecho
Coord_X	Coordenada X onde localiza-se o nó
Coord_Y	Coordenada Y onde localiza-se o nó

Tabela M - Ponto de Parada

Nome	Descrição
CodPonto	Código do ponto de parada do itinerário
CodTreItinerário	Código do trecho do itinerário da linha de ônibus onde se encontra o ponto de parada
CodNó	Código do nó que identifica a localização do ponto de parada
CodMaterial	Código do material utilizado para construção do ponto de parada
CodLote	Código do lote em frente ao ponto de parada
CodAbrigo	Código do abrigo do ponto de parada
CodSinalização	Código da sinalização utilizada no ponto de parada
IluminaçãoPonto	Consta a existência ou não de iluminação no ponto de parada
DtImplantaçãoPonto	Data de implantação do ponto de parada no local
DtExclusãoPonto	Data de exclusão do ponto de parada
StatusPonto	Identifica se ponto ativo ou inativo

Tabela N - Prolongamento

Nome	Descrição
CodProlongamento	Código do prolongamento do itinerário
DescProlongamento	Descrição do prolongamento do itinerário

Tabela O – Segmento Trecho

Nome	Descrição
CodSegTrecho	Código do Segmento de trecho de circulação do logradouro
CodTrecho	Código do trecho de logradouro
Segmento	Número que indica a quantidade de segmentos que compõem o trecho
Sentido	Indica o sentido do tráfego
CodNoInicial	Código do nó inicial que compõe o segmento de trecho
CodNoFinal	Código do nó final que compõe o segmento de trecho

Tabela P - Sentido

Nome	Descrição
CodSentido	Código que identifica o sentido do itinerário
DescSentido	Descreve o sentido do itinerário

Tabela Q - Sinalização

Nome	Descrição
CodSinalização	Código de sinalização do ponto de parada
DescSinalização	Descrição da sinalização do ponto de parada
CodTipoSinalização	Código do tipo de sinalização do ponto de parada

Tabela R - SinalizaçãoTipo

Nome	Descrição
CodTipoSinalização	Código do tipo de sinalização
DescTipoSinalização	Descrição do tipo de sinalização

Tabela S - Trecho

Nome	Descrição
CodTrecho	Código do trecho de logradouro
LogEixo	Código do logradouro de Eixo
Trecho	Trecho logradouro que identifica número do quarteirão
Lado	Lado do trecho de logradouro
CodNoInicial	Código do nó inicial do trecho de logradouro
CodNoFinal	Código do nó final do trecho de logradouro

Tabela T – Trecho Itinerário

Nome	Descrição
CodTreitinerário	Código do Trecho do Itinerário de circulação do logradouro
CodSegTrecho	Código do Segmento de trecho de circulação do logradouro
CodItinerário	Código do Itinerário da linha de ônibus
SeqItinerário	Número seqüencial que identifica a ordem de logradouros efetuada pelo percurso do itinerário
CodNóInicial	Código do nó inicial que compõe o segmento de trecho
CodNóFinal	Código do nó final que compõe o segmento de trecho