



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Dissertação de Mestrado
Área de Concentração: Banco de Dados

MODELO CONCEITUAL PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM AMBIENTE DE SIG

JONEY ROSAS CYSNE

Orientador
Prof. Dr. Ângelo Roncalli Alencar Brayner

Fortaleza-CE
2004

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO**

Dissertação de Mestrado
Área de Concentração: Banco de Dados

MODELO CONCEITUAL PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM AMBIENTE DE SIG

JONEY ROSAS CYSNE

**Dissertação apresentada ao Departamento de
Computação do Centro de Ciências da Universidade
Federal do Ceará (UFC) para obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação.**

**Orientador
Prof. Dr. Ângelo Roncalli Alencar Brayner**

**Fortaleza-CE
2004**

"DECORRIDOS MAIS DE TRINTA ANOS,
NOSSOS CONCEITOS SOBRE O DESTINO DO HOMEM
E DOS POVOS NÃO MUDARAM.
ANSIAMOS POR UM MUNDO MAIS SOLIDÁRIO,
MENOS EGOÍSTA,
COM UM MELHOR RATEIO DOS BENS ENTRE TODOS,
E A PERENIDADE DA PAZ.
QUEREMOS PARA O BRASIL UM REGIME DE MAIS JUSTIÇA SOCIAL
E DE RESPEITO A TODOS OS DIREITOS DOS CIDADÃOS.
UM MUNDO EM QUE O CÉU ESTEJA PRÓXIMO,
ISTO É,
ONDE A FELICIDADE ALCANCE A TODOS.
E SEM DEMORA."

(BLANCHARD GIRÃO)

Dedico este trabalho a:

*Meus queridos pais Jonocy e Neide. Meus exemplos.
Pela dedicação, paciência e amor.*

*Wlândia Karina, minha metade.
Pelo carinho e ajuda em todos os momentos.*

Meu filho Nathan. Um presente de Deus!

*Minha irmã, Cyneide e meu sobrinho Ícaro.
Pela confiança e incentivo.*

À memória de meus avós.

Minha família, tios e tias, primos e primas.

A Deus, por tudo.

AGRADECIMENTOS

Aos professores pela amizade e pelas grandes orientações recebidas.

Ao meu orientador e amigo Ângelo Brayner pela paciência e dedicação, sem o qual não seria possível este trabalho.

À FUNCEME, e em especial seu presidente e amigo Assis Filho, por me ajudar na obtenção deste objetivo.

Aos amigos do mestrado Aécio, Marconi, Orley, Guilherme, Fábio, Tathianne, Lineu e Wamberg, pela companhia nas longas horas de estudos, pelas alegrias, pelo incentivo e apoio de sempre.

Aos amigos Disney e Renata da COGERH.

Aos amigos do MCC e do MIA.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho,

OBRIGADO!

RESUMO

CYSNE, J. R. **Modelo Conceitual para Gerenciamento de Recursos Hídricos em Ambiente de SIG**. 2004. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2004.

Atualmente, a água é um recurso natural escasso a nível mundial e os problemas de água potável mostram-se piores a cada dia. A maioria desses problemas surge do gerenciamento incipiente dos recursos hídricos, da necessidade de investimentos financeiros voltados para o desenvolvimento sustentável e para a utilização eficiente dos recursos, da ausência de planos regionais eficazes de desenvolvimento de bacias e de um gerenciamento integrado. Um sistema de informações geográficas (SIG) pode oferecer um suporte adequado para o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos. Para tanto, é necessário o desenvolvimento de modelos que possam capturar a semântica dos fenômenos geográficos relativos aos recursos hídricos. O principal objetivo desta pesquisa é propor um modelo conceitual de dados, denominado ACQUA, com a capacidade de capturar a semântica dos fenômenos geográficos, relativos aos recursos hídricos de superfície, tais como reservatórios, rios, canais, adutoras, lagos e singularidades (p. ex.: obra de derivação, obra de lançamento, confluência, nascente e posto de monitoramento). O modelo ACQUA com suas propriedades físicas e características espaciais (geometria e topologia), dentro de um contexto geográfico, pode servir ainda, como base para planejamento urbano, gerenciamento do uso dos recursos hídricos em tempos de crise (tais como, a oferta e demanda de água nos períodos de seca), simulação de cenários para operação de sistemas hidráulicos e análise do impacto da construção de novas obras hídricas em uma região hidrográfica. A fim de demonstrar a aplicabilidade e viabilidade da proposta foi implementada uma ferramenta, chamada ACQUA VIEW, para dar suporte ao gerenciamento de recursos hídricos em ambiente de SIG. Esta ferramenta oferece aos usuários finais as seguintes funcionalidades: análise interativa em mapas georeferenciados, função zoom, consultas “ad hoc”, funções espaciais, consultas gráficas e uma completa lista de todos os atributos, para cada objeto selecionado nos mapas. A princípio, um banco de dados com objetos representativos dos recursos hídricos, foi implementado em um SGBD ORACLE 9i, baseado nos conceitos e princípios fornecidos pelo modelo ACQUA. Finalmente, o ACQUA VIEW tem sido usado para explorar os recursos hídricos do Estado do Ceará – Brasil, pela FUNCEME, um órgão estatal, com reconhecidos serviços prestados à comunidade no âmbito dos problemas relacionados a recursos hídricos.

Palavras-chaves: Modelo de Dados Conceituais – Recursos Hídricos, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Banco de Dados Espaciais.

ABSTRACT

CYSNE, J. R. **A Conceptual Data Model for Water Resources Management in GIS Environment**. 2004. 81f. Dissertation (Master of Computer Science) – Science Center, Federal University of Ceará, Fortaleza-CE, 2004.

Nowadays, water is a scarce natural resource in worldwide scale and freshwater problems are acute and worsening. Most arise from the poor management of water resources, lack of financial resources required for sustainable development and efficient utilization of resources, absence of effective regional and basin development plans and shared management. A geographic information system (GIS) should be used to provide support for an efficient water resource management. Thus it is necessary conceptual models for capturing the semantics of water resource related geographic phenomena. The main goal of this research is to propose a conceptual data model, denoted ACQUA, with capability of capturing the semantics of geographic phenomena, which are related with superficial water resources, such as reservoirs, rivers, channels, pipelines, lakes and singularities (e.g.: waterwithdrawal, waterdischarge, confluence, riverhead and monitoring-station). The ACQUA model with its physical properties and spatial information (geometry and topology), within a geographic context, may be used as support for urban planning, water-related crisis management (such as, water offer and demand during a dry period), scenario simulation for operation of hydraulic systems and to analyze the impact of new hydraulic structures in a hydrographic region. To demonstrate the applicability and feasibility of our proposal it has been implemented a tool, called ACQUA VIEW, which gives the necessary support for water resources management in a GIS environment. This tool offers to final users the following functionalities: interactive analyses on georeferenced maps, zoom function, “ad hoc” queries, spatial functions, graphical queries and a complete list of all attributes for each object selected on maps. Initially, a database with water-related objects was created in ORACLE 9i DBMS, based on concepts and principles of the ACQUA model. Finally, the ACQUA VIEW tool has been used to explore the surface water resources of the State of Ceará – Brazil, by FUNCEME, a governmental agency, with recognized services given for the community in water-related problems.

Keywords: Conceptual Data Models – Water Resources, Geographic Information System (GIS), Spatial Databases.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - CONCEITOS E ARQUITETURA	4
2.1	Introdução.....	4
2.2	Histórico	5
2.3	Conceitos.....	7
2.3.1	Visão Geral.....	7
2.3.2	Característica Geral dos Dados Geográficos	10
2.3.3	Representação dos Dados	11
2.3.4	Estrutura de Dados.....	11
2.4	Arquitetura de um SIG	13
3	MODELOS DE DADOS PARA REPRESENTAR FENÔMENOS GEOGRÁFICOS	18
3.1	Introdução.....	18
3.2	Modelos e Esquemas de Dados	19
3.2.1	Modelos de Dados	19
3.2.2	Esquemas de Dados	21
3.3	Modelos de Dados Geográficos	22
3.3.1	OpenGIS Model.....	23
3.3.2	Modelo de Dados do SIG SPRING	24
3.3.3	Modelo de Dados do SIG ArcInfo.....	26
3.3.4	“Roads”.....	30
3.4	Modelos de Dados para Gerenciamento de Recursos Hídricos	32
3.4.1	Modelo de Dados SIGMA 2001	33
3.4.2	Modelo de Dados COGERH	33
3.4.3	Modelo de Dados SUDERHSA.....	34
3.4.4	Modelo de dados geográficos para hidrologia proposto por Clodoveu et al.	36
3.4.5	Modelo de dados geográficos para sistemas de informação de recursos hídricos proposto por Clodoveu et al.	37
3.4.6	Modelo SIGERCO/RS.....	40

4	MODELO ACQUA	43
4.1	Introdução.....	43
4.2	Características Gerais.....	44
4.3	Funcionalidades.....	44
4.4	Cenário Exemplo.....	45
4.5	Apresentação do Modelo.....	48
4.5.1	Nível 0 (Classes Primitivas)	48
4.5.2	Nível 1	50
4.5.3	Níveis 2 e 3	51
4.5.4	Outros níveis da hierarquia de classes	56
4.6	Discussão.....	59
5	ACQUA VIEW	61
5.1	Introdução.....	61
5.2	O Aplicativo	61
5.3	Características de Implementação	73
6	CONCLUSÕES	75
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão geral de um SIG	7
Figura 2 – Uma possível classificação de aplicações de SIG.....	10
Figura 3 – Arquitetura interna de um SIG.....	13
Figura 4 – Modelo OGIS Geodata.....	24
Figura 5 – Modelo de dados do SPRING	26
Figura 6 – Modelo de dados do ArcInfo.....	27
Figura 7 – Modelo de dados do GEODATABASE (Parte integrante do ArcObjects).....	29
Figura 8 – Modelo de dados do GEOMETRY (Parte integrante do ArcObjects).....	30
Figura 9 – Modelo de dados geográfico para hidrologia.....	37
Figura 10 – Altimetria, bacias hidrográficas e hidrografia.....	39
Figura 11 – Mapeamento hidrogeológico, geologia, geomorfologia e hidrografia.....	40
Figura 12 – Modelo de dados na visão de campo.....	41
Figura 13 – Modelo de dados na visão de objetos.....	42
Figura 14 - Topologia do rio Mandacaru.....	46
Figura 15 – Classes Primitivas	50
Figura 16 – Classe Recursos Hídricos.....	51
Figura 17 – Classe Hidrografia Natural.....	51
Figura 18 – Classe Reserva Hídrica	52
Figura 19 – Classe Transferência Hídrica	53
Figura 20 – Classe Singularidade	54
Figura 21 – Especialização da Classe Singularidade.....	55
Figura 22 – Representação da área de demanda de água	57
Figura 23 – Representação da área de monitoramento.....	58
Figura 24 – Representação da área de qualidade da água	58
Figura 25 – Pasta de apresentação do sistema.....	62
Figura 26 – Módulo de configuração de cores das legendas.....	63
Figura 27 – Pasta de consulta	64
Figura 28 – Mapa interativo geo-referenciado	65
Figura 29 – Localização do objeto em foco	65
Figura 30 – Seleção do objeto de uma bacia hidrográfica através da lista.....	66
Figura 31 – Seleção do objeto de uma bacia hidrográfica diretamente no Mapa.....	66

Figura 32 – Atributos do objeto selecionado.....	67
Figura 33 – Espelho d’água do objeto selecionado	67
Figura 34 – Pontos de singularidades do objeto selecionado	67
Figura 35 – Módulo gráfico de pesquisa de açudes.....	68
Figura 36 – Pesquisa de dados históricos sobre o açude selecionado	68
Figura 37 – Ferramenta de zoom.....	69
Figura 38 – Ferramenta de extensão.....	69
Figura 39 – Linha base de extensão entre os dois pontos.....	69
Figura 40 – Ferramenta de raio.....	70
Figura 41 – Círculo base com raio determinado.....	70
Figura 42 – Lista de objetos dentro do raio pré-determinado.....	70
Figura 43 – Botão Limpar	70
Figura 44 – Pasta de análise de açudes.....	71
Figura 45 – Pasta de análise de rios.....	72
Figura 46 – Pasta de análise de singularidades.....	72
Figura 47 – Script de criação do banco de dados	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representação de Rotas X Escala.....	32
Tabela 2 – Seções do rio Mandacaru.....	48

1 INTRODUÇÃO

Estudos criteriosos e aprofundados, além da adoção de instrumentos eficazes de extração e gerenciamento de informações consistentes, corretas e atualizadas, possibilitam conhecer o espaço em que vivemos, além de subsidiar as atividades de planejamento e gestão. O processo de planejamento e gestão do espaço em que vivemos, e a compatibilização dos interesses econômicos e políticos com as necessidades sociais e o equilíbrio ecológico, exige suporte adequado capaz de apoiar o processo de tomada de decisões.

Diante deste panorama, os Sistemas de Informações Geográficas – SIGs – apresentam-se como ferramentas importantes para o desempenho de atividades voltadas para o conhecimento, captação, armazenamento, análise e difusão de informações do nosso espaço urbano e do meio-ambiente em geral. Os sistemas de informações geográficas gerenciam diferentes tipos de dados e provêm o suporte necessário para aplicações em diversas áreas do conhecimento. De uma forma geral um SIG pode ser definido como um conjunto de componentes interligados, com a capacidade de armazenar, recuperar, integrar e analisar dados geográficos de diferentes fontes, tais como dados cartográficos, dados de censo, dados de cadastros urbano e rural, dados geo-ambientais, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno (MNTs).

Visando contribuir com os esforços de melhor gerir nossos recursos ambientais, a dissertação ora proposta tem como principais objetivos:

- Elaborar um modelo conceitual de dados representativo do mundo hídrico de superfície, voltado para o ambiente de SIG, com riqueza semântica e projetado de acordo com a nossa realidade;

- Utilizar o modelo proposto como base para a implementação de um banco de dados, com dados convencionais e dados geo-referenciados (com representação espacial), para dar suporte ao gerenciamento de recursos hídricos, em ambiente de SIG.
- Desenvolver uma ferramenta interativa de análise e gerenciamento de informações geográficas, voltada inicialmente para a área de recursos hídricos.

A idéia é fornecer subsídios para a geração, gerenciamento e manipulação de informações de recursos hídricos, e possibilitar, dentre outras coisas: unificação e padronização de conceitos na área de recursos hídricos; consolidação em um único modelo conceitual, de informações hoje dispersas entre diversas fontes de dados, tais como arquivos convencionais, planilhas, banco de dados convencionais (por exemplo, Access) e banco de dados geográficos proprietários (como o Arcview); facilidade de acesso às informações; agilização do fluxo de informações entre empresas, órgãos e instituições ligadas à área de recursos hídricos;

O modelo conceitual proposto visa, entre outras coisas, apoiar o processo de tomada de decisão na área de gerenciamento de recursos hídricos, e busca representar de forma detalhada as informações nas áreas de:

- Monitoramento da demanda (usos industriais, agrícolas, turísticos e urbanos da água);
- Operação de hidrosistemas;
- Monitoramento hidroambiental (parâmetros como fluviometria, estoque de água, pluviometria, aquíferos, etc);
- Simulação de cenários de operação de hidrosistemas;
- Implantação de novas obras hídricas;
- Monitoramento da quantidade de água disponível para oferta;
- Monitoramento das campanhas, amostras e parâmetros de avaliação da qualidade de água.

A implementação de um banco de dados com suporte ao gerenciamento de dados geo-referenciados, e baseado integralmente nos conceitos do modelo proposto, tem por finalidade demonstrar os conceitos estabelecidos no modelo e provar na prática a sua aplicabilidade. A

idéia é desenvolver um Banco de Dados de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, em parceria com a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

A elaboração de uma ferramenta interativa de análise e gerenciamento de dados geo-referenciados que complementa esta proposta, trabalha inicialmente com dados do Estado do Ceará, extraídos do banco de dados de recursos hídricos implementado como segundo objetivo desta dissertação. A ferramenta busca demonstrar os conceitos estabelecidos no modelo proposto diretamente aos usuários finais, aprofundar a análise dos dados disponíveis e apresentar de forma gráfica e geo-referenciada os objetos representados pelo modelo.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: o capítulo 2 descreve um sistema de informação geográfica, através da sua arquitetura e da caracterização dos dados geográficos; o capítulo 3 apresenta uma análise de algumas soluções propostas para representar fenômenos geográficos, e o problema de gerenciamento de recursos hídricos sob o ponto de vista de um SIG; o capítulo 4 apresenta o modelo ACQUA proposto com o objetivo de representar dados do mini mundo recursos hídricos; o capítulo 5 mostra o aplicativo ACQUA VIEW, desenvolvido como ferramenta de apoio à análise e gerenciamento de recursos hídricos; o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho, e o capítulo 7 as referências bibliográficas.

2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - CONCEITOS E ARQUITETURA

2.1 INTRODUÇÃO

Como já dito anteriormente, há uma necessidade cada vez mais crescente no que diz respeito à utilização de SIGs. Isto se deve ao fato de um SIG representar um sistema de apoio à decisão em muitas áreas do mundo moderno, como planejamento urbano, gerenciamento de recursos hídricos, entre outras.

Sistemas de Informações Geográficas - SIGs – podem ser definidos como ferramentas de armazenamento, manipulação e análise de fenômenos geográficos. Embora pareça um único sistema informatizado, um SIG é na verdade um conjunto de tecnologias integradas que busca coletar, tratar, visualizar e gerenciar informações geo-referenciadas [1] de diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, a área ambiental (botânica, geografia, agronomia, geologia, meteorologia, etc.) ou sócio-econômica (administração, saúde, segurança, uso e ocupação do solo, etc.). O geo-referenciamento permite que um determinado fenômeno geográfico possa ser localizado espacialmente, utilizando-se um determinado sistema de coordenadas geográficas.

Neste capítulo, serão apresentados conceitos básicos da área de SIGs que são utilizados ao longo desta dissertação, e ainda um modelo de arquitetura de SIGs. Este capítulo está organizado como descrito a seguir. Para demonstrar o processo de evolução tecnológica dos SIGs até chegarem nos seus desafios atuais, um breve histórico do desenvolvimento da área de SIGs será apresentado na seção 2.2. A seção 2.3 apresenta conceitos básicos de SIG, e enfatiza o uso desta tecnologia, através dos inúmeros aplicativos existentes nas mais

diferentes áreas. A seção 2.4 apresenta um modelo de arquitetura de um SIG, sob o aspecto interno, destacando seus componentes estruturais e o detalhamento das funções associadas a cada um destes componentes.

2.2 HISTÓRICO

Os primeiros SIGs surgiram da necessidade de automatizar o processamento de dados georeferenciados (a maioria deles relacionados com o uso da terra, recursos naturais e análise ambiental). Segundo Câmara et al [2], as primeiras tentativas para o desenvolvimento de SIGs, apareceram na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, nos anos 50, e tinham como principal objetivo a diminuição de custos de produção e atualização de mapas. Primeiramente, na área da Botânica, com a produção de mapas gerados a partir de cartões perfurados. Depois, um segundo sistema foi desenvolvido em Chicago, com o objetivo de controlar o tráfego em algumas vias da cidade.

Na década de 60, surgiu no Canadá, como parte de um plano estratégico governamental de longo prazo, um SIG para criar um inventário de recursos naturais automatizado (Canadá Land Inventory). É desta época também, o estudo de pesquisadores dos Estados Unidos, no sentido de lidar com modelos de grande escala, com especial atenção aos modelos de transporte que manipulavam diferentes tipos de dados e grandes arquivos, e cujo objetivo era, através da análise de rotas, distribuição da população e de outras informações espaciais, como local de trabalho, fornecer soluções aos problemas de transporte.

Ainda segundo Câmara et al [2], nos anos 70 desenvolveram-se fundamentos matemáticos voltados à cartografia, proporcionando o surgimento da chamada topologia aplicada, permitindo a análise espacial entre elementos cartográficos. É também desta década o surgimento dos primeiros sistemas comerciais de CAD (Computer Aided Design) e o aumento considerável na capacidade de armazenamento e na velocidade de processamento dos computadores (famosos *mainframes*).

A década de 80 segue num crescimento vertiginoso de novos recursos de *hardware* e *software*, seguidos pela redução gradual dos custos, favorecendo, em parte, as pesquisas na

área de SIGs. É a década da popularização das estações de trabalhos RISC, dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Relacionais, e do aparecimento e rápida evolução dos microcomputadores, ou computadores pessoais. Surge nos Estados Unidos o NCGIA (National Centre for Geographical Informations and Analysis), formado a partir da criação de centros de pesquisa, marcando o estabelecimento do geoprocessamento como disciplina científica independente. Com o incentivo do Dr. Roger Tomlinson, apontado como criador do nosso primeiro SIG, em meados de 1982, surgiram no Brasil vários grupos de interessados na nova tecnologia, e com eles, instituições e centros de pesquisas importantes como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRAS e Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ.

Após a primeira geração de SIGs, baseados em CAD cartográfico, chega no início dos anos 90, a segunda geração baseada em Banco de Dados Geográficos, e concebida para uso em ambiente cliente-servidor, acoplada a SGBDs Relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens [3]. Inúmeros pesquisadores [4,5,6,7,8] buscaram desenvolver padrões de estruturas e SGBDs para banco de dados geo-espaciais. Devido às características espaciais dos SIGs, parte das pesquisas apresentava modelos de dados orientados a objetos [9,10,11]. A década de 90 termina com o aparecimento da terceira geração de SIGs, com custo ainda mais reduzido, voltada para ambientes multiplataformas com interfaces em janelas, gerenciando grandes bases de dados geográficas distribuídas e compartilhadas com diversas instituições.

No início do novo século, os novos desafios a serem vencidos devem estimular, ainda mais, o crescimento de SIGs. A integração de diversas bases de dados e a disponibilização dos dados via Internet, estão por exigir soluções melhores e mais rápidas. Dominando cerca de 80% do mercado de software para manipulação, análise e visualização de dados espaciais, a ESRI, com o produto ARCVIEW, apresenta sua solução para publicação de dados na WEB, através do módulo ARCIMS. A SISGRAPH, maior concorrente da ESRI, oferece ao mercado o GEOMIDIA, que acoplado ao módulo GEOMIDIA-WEB, oferece também uma solução para visualização dos dados geográficos na WEB. Produtos como o SPRING e o TerraView (desenvolvidos pelo INPE), ERDAS, ENVIA, ERMAPPER, EASI/PACE, MIPS, ILWIS, REGIS, IDRISI, são alguns dos produtos que permeiam este mercado tão efervescente.

2.3 CONCEITOS

2.3.1 VISÃO GERAL

Segundo NYERGES [12], um SIG integra basicamente cinco componentes: hardware, software, dados espaciais e não-espaciais, recursos humanos e métodos. A integração destes componentes em um SIG, apresentada na figura 1, visa coletar, armazenar, analisar e disseminar informações sobre áreas da Terra. O hardware e o software servem de base para a execução de todos os processos e funções, e sofrem mudanças devido aos constantes avanços tecnológicos. O dado, com características espaciais e não-espaciais, representa o fenômeno geográfico, e da sua acuracidade e qualidade depende o sucesso de um SIG. Igual importância pode ser atribuída aos recursos humanos envolvidos na aquisição dos dados, na elaboração do modelo e no gerenciamento do sistema. O emprego de métodos auxilia na definição do modelo que melhor representa as práticas e processos de trabalho. Os conceitos de SIG podem variar de acordo com a perspectiva particular de cada autor, ainda assim, convergem para a mesma idéia de integração de várias tecnologias, da multidisciplinaridade de usos e da variedade de tipos de usuários. O conceito de SIG é ampliado, à medida que novas tecnologias e conhecimentos são incorporados, seja em métodos, dados, hardware, software ou perfis de usuários.

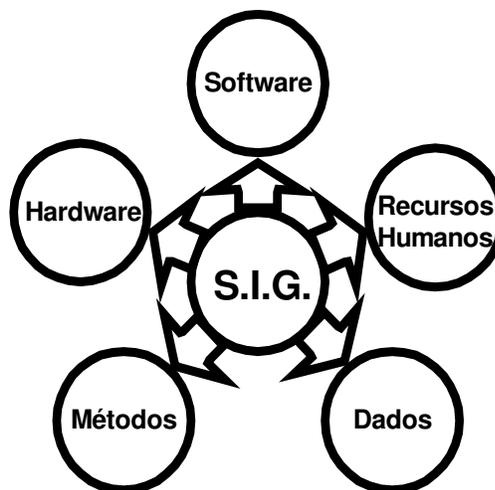


Figura 1 – Visão geral de um SIG.

Os SIGs fazem parte de uma área de conhecimento, denominada geoprocessamento. O geoprocessamento, segundo Câmara et al [2], pode ser entendido como uma tecnologia

digital, formada por pelo menos três categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial:

- Coleta de informações espaciais (cartografia, sensoriamento remoto, GPS, fotogrametria);
- Armazenamento de informação espacial (mapa, banco de dados espacial);
- Tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, geometria computacional com funções topológicas, métricas e de classificação);

Existem diversas técnicas de suporte na área de coleta de informações geográficas. Como exemplo destas técnicas, podemos citar a coleta através de GPS(Global Positioning System), mesas digitalizadoras, satélites, câmaras fotográficas aero-transportadas, radares, sonares e mapas. Técnicas para coleta buscam reduzir os custos de implementação de um SIG e aprimorar a qualidade dos dados.

O mapa é o mais tradicional método de armazenamento de informações geográficas. Uma simples análise do conceito popular da Geografia, conhecida como a ciência do ONDE, O QUE e PORQUE, denota a importância dos mapas. Um mapa apresenta, basicamente, três informações sobre os fenômenos geográficos:

- Localização e extensão (Onde o fenômeno acontece?);
- Características ou atributos (O que é o fenômeno?);
- Relacionamentos com outros fenômenos (Como ou porque o fenômeno acontece?).

Outra técnica de armazenamento de informação espacial é o banco de dados espacial, que pode ser entendido como um SGBD estendido, visando incorporar funcionalidades de um SIG. Para Silberschatz et al. [13] um banco de dados espacial é aquele que armazena informações relativas à localização espacial dos objetos, e prover um suporte para consulta e indexação eficientes, baseado na localização espacial. Segundo Elmasri e Navathe [14] os bancos de dados espaciais são aqueles que fornecem conceitos para o controle de objetos em um espaço multidimensional. Entre estes conceitos estão o conceito geométrico para SGBD espaciais bidimensionais, as operações espaciais necessárias para operar nas características espaciais do objeto e as técnicas especiais para indexação espacial de modo a responder eficientemente os tipos de consultas espaciais.

O tratamento e a análise da informação espacial exige de um SIG mecanismos específicos, que facilitem a manipulação e a sintetização dos relacionamentos espaciais entre os objetos geográficos. Em geral, estes mecanismos são traduzidos em funções de suporte à manipulação dos dados, preparando-os para a fase de análise, e funções de análise com o objetivo de produzir respostas, que vão de simples consultas a mapas complexos e envolvendo inúmeros relacionamentos.

A grande variedade de aplicações de SIG leva a diferentes formas de caracterização de um SIG. O tipo de tarefa (inventário, avaliação, gerenciamento, etc.), a área ou domínio da aplicação (ambiental, sócio-econômicas, etc.), o nível de decisão (tático, gerencial ou operacional), o tamanho ou escala da área estudada (pequena, média ou grande) e o tipo de organização (pública, privada ou filantrópica) podem ser usados para categorizar um SIG.

Por exemplo, segundo Elmasri e Navathe [14], é possível classificar um SIG em aplicações cartográficas, de modelagem digitalizada de terras e de objetos geográficos. Esta classificação, conforme demonstra a figura 2, apresenta três categorias de aplicações de SIG, sendo que, as duas primeiras categorias de aplicações estão baseadas na representação de áreas, enquanto a terceira categoria é baseada na representação de objetos. O grupo das aplicações cartográficas requer funções especiais, tais como a sobreposição de camadas de mapas para compor e combinar diversos atributos. As aplicações de modelagem digitalizada de terras utilizam redes tridimensionais para representar elevações da superfície terrestre, e funções de interpolação aplicadas sobre os pontos observados. Nas aplicações de objetos geográficos, outras funções espaciais são requeridas, como por exemplo, as funções de medida (área e perímetro) e as funções que expressam relacionamentos topológicos (overlap, in, cross, equal e cover). O uso de mapas e funções torna possível a análise comparativa dos objetos geográficos ao longo do tempo.

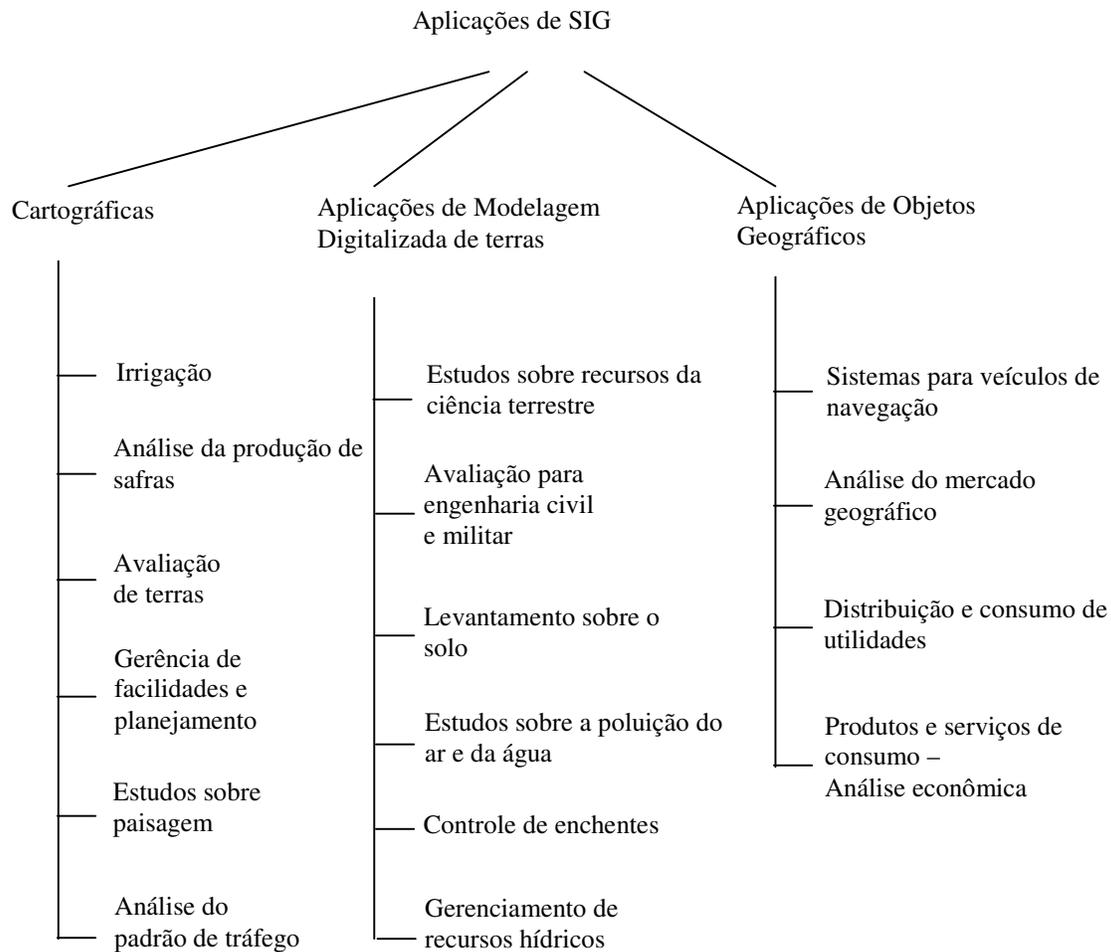


Figura 2 – Uma possível classificação de aplicações de SIG.

2.3.2 CARACTERÍSTICA GERAL DOS DADOS GEOGRÁFICOS

Segundo Câmara [3], o fenômeno geográfico é um fato ou objeto do globo terrestre, ao qual associa-se uma localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo. Os dados usados em um SIG são chamados dados geográficos ou dados geo-referenciados. Os dados geo-referenciados apresentam três características distintas:

- Características não-espaciais: Descrevem o fenômeno a ser estudado, tais como nome e tipo de variável.
- Características espaciais: Informam a localização espacial do fenômeno, ou seja, seu geo-referenciamento, atribuindo-lhes propriedades geométricas e topológicas;

- Características temporais: Identificam o tempo de coleta e validade dos fenômenos estudados.

É comum a apresentação de dados geo-referenciados em uma, duas ou três dimensões.

2.3.3 REPRESENTAÇÃO DOS DADOS

Em geral, segundo Câmara [3], os dados geográficos são representados como duas grandes classes: objetos e campos.

Os objetos geográficos (geo-objetos) apresentam um identificador, uma localização e atributos não-espaciais, e podem estar associados a mais de uma representação gráfica. Podem ser descritos como pontos, linhas ou polígonos e ocorrem em mapas cadastrais e redes.

Os campos geográficos (geo-campos) representam grandezas espaciais contínuas, em geral, aproximadas e discretizadas, tais como tipo de vegetação e uso do solo. Os campos representam, na prática, os mapas temáticos, imagens e modelos numéricos de terreno. Em Kazmierczak e Escada [15], os campos são descritos em seis modelos comuns no uso de SIG:

- Amostragem irregular de pontos;
- Amostragem regular de pontos;
- Contornos;
- Polígonos;
- Grades regulares (formato de tesselação ou matricial);
- Redes ou malhas triangulares (triangulação de Delaunay).

2.3.4 ESTRUTURA DE DADOS

O mundo geográfico pode ser representado através das visões de modelagem de campo e modelagem de objetos. A modelagem de campo vê o mundo como uma superfície contínua, sobre a qual os fenômenos geográficos são observados segundo diferentes distribuições. Os campos são geralmente representados por estruturas de tesselação ou matriciais (estrutura raster) [2]. A modelagem de objetos representa o mundo como uma superfície ocupada por

objetos identificáveis, cujas representações, segundo Silberschatz et al. [13], podem ser resumidas nas seguintes estruturas básicas: ponto, linha e área. Com estas três entidades podemos representar os variados fenômenos geográficos (estrutura vetorial).

O ponto representa no mapa uma informação geográfica muito pequena. Por exemplo, no mapa temático de hidrologia, pode representar um posto pluviométrico, uma estação automática ou um poço d'água. O ponto é definido como um par de coordenadas (X,Y), e um rótulo.

A linha representa fenômenos que podem ser descritos como um ou vários trechos retilíneos, como por exemplo, rios e afluentes no plano hidrologia, ou um trecho de uma rodovia no plano rodoviário. São necessários dois pares de coordenadas (X,Y) para a definição da linha, além do rótulo.

A área representa polígonos fechados. É composta de um conjunto de coordenadas (X,Y) e um rótulo. Lagos e açudes, tipos de solo, lotes e terrenos são representados por segmentos de reta que fecham uma área.

Estruturas mais complexas podem ser construídas com base nas estruturas básicas. Estruturas como nós, arcos e polígonos abertos, também podem ser utilizadas para representar fenômenos geográficos. Um arco interliga segmentos de reta por pontos, e possui um nó de início e um de término. Um nó representa o ponto de convergência entre dois arcos e o polígono aberto é definido como um conjunto de arcos interligados por nós.

Tanto quanto identificar e catalogar, é importante descobrir e representar os relacionamentos entre os fenômenos geo-referenciados. A geometria computacional com suas funções topológicas estabelece a estrutura dos relacionamentos espaciais (ex.: conectividade, adjacência, proximidade, pertinência, etc.). O uso dos elementos básicos e seus relacionamentos topológicos propiciam a utilização de outras funções, tais como a detecção automática, análise de fluxo, operações de sobreposição e interseção de polígonos, etc.

2.4 ARQUITETURA DE UM SIG

Numa visão interna, o SIG é definido como um conjunto de componentes que se relacionam de forma hierárquica, desde o usuário até o dado físico propriamente dito. Estes componentes estão distribuídos em forma de camadas e atuando na interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento vetorial e de imagens, visualização e plotagem, e funções de armazenamento, recuperação e atualização de dados. Os componentes de um SIG estão ilustrados na figura 3.

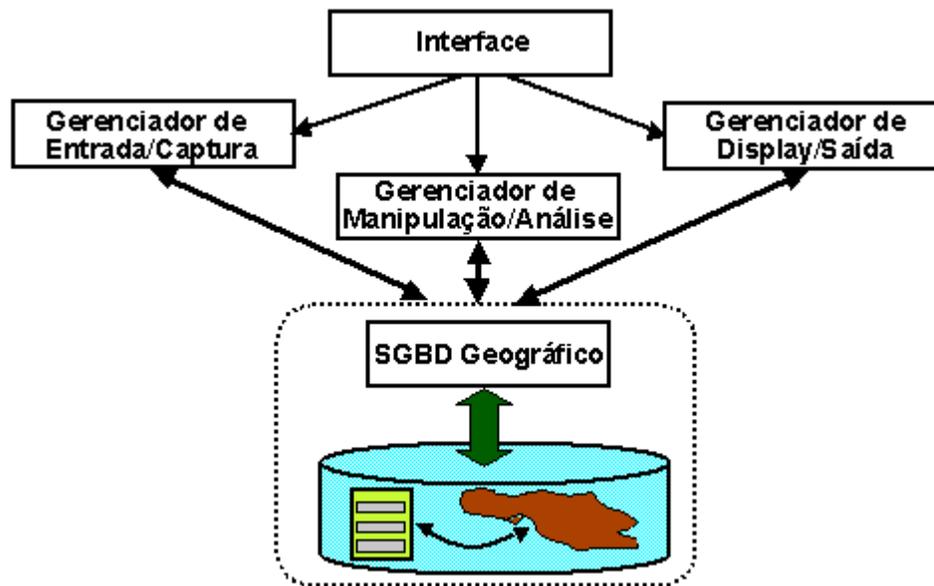


Figura 3 – Arquitetura interna de um SIG.

O componente interface evoluiu da simples linha de comando, para as chamadas GUIs (Graphical User Interfaces) baseadas em menus, proporcionando maior interação entre usuário e máquina. O surgimento de linguagens de consulta SQL-like (Structured Query Language-like) e dos menus QBE (Query By Example) fez diminuir a complexidade na elaboração de consultas, que juntamente com a evolução das linguagens de programação de alto nível, reforçou o conceito de interfaces “mais amigáveis”. Em certos casos, estas interfaces são adaptáveis ao tipo de usuário ou grupo de usuários, e dependendo dos privilégios concedidos ao usuário ou ao grupo, o aplicativo é capaz de mostrar ou esconder operações ou funcionalidades de um SIG.

O componente gerenciador de entrada/captura tem como funções principais receber os dados coletados, capturar suas coordenadas espaciais, transformá-los num formato digital (digitalização) e enviá-los para armazenamento no banco de dados geográfico. Os avanços tecnológicos propiciam uma maior precisão dos equipamentos, uma melhoria da resolução das imagens capturadas, uma diminuição dos custos e um aumento na qualidade dos dados. Entre os equipamentos utilizados na captura de dados destacam-se as mesas digitalizadoras, scanners, GPS(Global Positioning System), câmaras fotográficas e satélites. O processo de digitalização que segue o processo de coleta é, em geral, custoso e demorado, e pode ser dividido em vetorial e raster scanning. No processo vetorial é feito a digitalização de linhas (conjunto de pontos), o ajuste de nós (pontos de referência), a geração de topologia e a rotulação (identificação) de cada dado geográfico. O processo de raster scanning ou varredura ótica é feito por dispositivos chamados scanners, e na seqüência, após a obtenção dos dados são utilizados algoritmos de conversão para o formato vetorial.

O componente gerenciador de manipulação/análise é responsável, através de funções de manipulação, pela preparação dos dados para a fase de análise, e, através de funções de análise, pelo desenvolvimento e sintetização de relacionamentos espaciais, para responder as consultas dos usuários. As funções de manipulação e análise de um SIG envolvem mecanismos de consulta e seleção, através dos quais são estabelecidas as restrições ao conjunto de dados. De acordo com a atividade ou tipo de dado, um SIG deve apresentar conjuntos de funções de manipulação e análise distintos [2,12], tais como:

- Conversão de estruturas:
 - Vector para raster;
 - Raster para vector;
 - Quadtree para vector;
 - Rede para rede de acordo com o ponto de referência.
- Conversão de coordenadas:
 - Translação;
 - Rotação;
 - Alteração de escala;
 - Alteração de projeção do mapa;
 - Alteração de deformação de imagem.

- Agregação espacial:
 - Agregação de objetos;
 - Agregação de atributos.
- Processamento digital de imagens:
 - Retificação;
 - Contraste;
 - Filtragem;
 - Realce;
 - Classificação.
- Modelos numéricos de terreno:
 - Mapas de declividade;
 - Mapas de aspecto;
 - Cálculo de volumes;
 - Análise de perfis;
 - Geração de modelo a partir de pontos esparsos ou linhas.
- Redes:
 - Caminhos ótimos;
 - Caminhos críticos;
 - Ligação topológica.
- Consulta à banco de dados:
 - Espaciais;
 - Não-espaciais.
- Análise geográfica:
 - Superposição;
 - Ponderação;
 - Medidas (área, perímetro);
 - Mapas de distância;
 - Tabulação cruzada.

O componente gerenciador de display/saída fornece o suporte necessário para que os fenômenos geográficos armazenados no banco de dados possam ser visualizados. Este ambiente de visualização pode ser dinâmico, quando a interface de saída é o monitor de vídeo, e permite o uso de determinadas funções sobre as imagens a serem exibidas. Ou ainda, este

ambiente de visualização pode ser estático, através de sofisticadas apresentações gráficas, sobre as quais são aplicadas algumas funções, antes da impressão ou plotagem, de toda ou apenas parte de áreas de display. Entre as funções de gerenciamento de display/saída, destacam-se as descritas a seguir:

- Para visualização em monitores de vídeo:
 - Zoom (alteração de escala de visualização de áreas);
 - Pan (movimentação sobre a área de visualização, mostrando diferentes áreas);
 - Flatmap (criação de vista aérea de toda ou parte da área);
 - Perspective (criação de sólidos 3D);
 - Contorno (geração de displays de contorno 2D, em função de certos limites de valores selecionados);
 - Composição (composição de múltiplas visões em um único mapa de visualização).
- Para visualização através de apresentações gráficas:
 - Screen dump (impressão do que está sendo visualizado);
 - Mosaic output (impressão em forma de tiras ou mosaicos da área de trabalho);
 - Definição de área de plotagem;
 - Colocação de legendas, textos explicativos e notas de crédito;
 - Atribuição de cores e texturas.

As funções de armazenamento, recuperação e atualização de dados, que a princípio atuavam exclusivamente com arquivos internos proprietários de SIGs, evoluíram para o uso dos chamados SGBDs específicos denominados Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Geográficos. Os SGBDs Geográficos ou banco de dados espaciais mantêm todas as características do banco de dados tradicional, exceto pelas extensões necessárias para interpretar características espaciais, das estruturas de indexação especial e das estruturas de armazenamento, imprescindíveis para um bom desempenho.

Entre as consultas espaciais mais frequentes, podemos citar consultas dos seguintes tipos:

- Consulta de intervalo: seleção de objetos de determinado tipo, dentro de determinada área ou distância, a partir de um determinado ponto.

- Consulta de proximidade: seleção de objetos de determinado tipo, mais próximos de um determinado ponto.
- Consulta de junção: junção de objetos que satisfazem uma determinada condição espacial (por exemplo, interseção, cruzamento, sobreposição, etc).

Uma outra particularidade de SGBDs Geográficos refere-se às estruturas de indexação, pois as tradicionais estruturas de índices B-tree ou Hash, que tratam dados com uma dimensão, não são apropriadas para indexar dados espaciais. As estruturas mais utilizadas para indexação de dados espaciais são as k-d trees, R-trees e suas variações (R*-trees e R⁺-trees), e as Quadtrees. Há também extensões das estruturas k-d trees e Quadtrees para solução de problemas de indexação de polígonos e linhas.

O componente SGBD Geográfico atua diretamente com os componentes entrada/captura, manipulação/análise e display/saída. A eficiência no acesso, manipulação e recuperação dos dados do SGBD, aliados à qualidade do modelo de dados proposto, são ferramentas indispensáveis para o sucesso de um SIG.

3 MODELOS DE DADOS PARA REPRESENTAR FENÔMENOS GEOGRÁFICOS

3.1 INTRODUÇÃO

O modelo de dados é uma abstração da realidade, e deve dar ênfase aos detalhes e aspectos que interessam ao problema que está sendo focalizado. A elaboração de um modelo de dados para representar fenômenos geográficos tem por objetivo a captura e representação de propriedades geométricas e topológicas dos objetos geo-referenciados envolvidos no problema.

Este capítulo é voltado para a apresentação de conceitos de modelos de dados, e a descrição de modelos projetados para atender a área de sistemas de informações geográficas. Este capítulo está organizado como descrito a seguir. Na seção 3.2 são apresentados conceitos de modelos de dados e esquema de dados, as suas categorizações e finalidades. A seção 3.3 descreve alguns modelos de dados conceituais, que buscam dar suporte a área de sistemas de informações geográficas de uma forma geral. Algumas aplicações ou implementações destes modelos são citadas para demonstrar seus usos e especificidades. Finalizando o capítulo, a seção 3.4 detalha alguns modelos de dados conceituais, voltados para a área de recursos hídricos, destacando a representação dos dados espaciais, a área de abrangência (domínio) e os objetivos de cada modelo.

3.2 MODELOS E ESQUEMAS DE DADOS

3.2.1 MODELOS DE DADOS

Apresentamos nesta seção alguns conceitos difundidos sobre modelo de dados, categorizações, exemplos e funcionalidades para cada tipo de modelo.

E.F. Codd [16] define um modelo de dados como sendo a combinação de três componentes:

- Uma coleção de tipos estruturados de dados (as estruturas de construção de qualquer banco de dados que correspondem ao modelo proposto);
- Uma coleção de operadores ou regras de inferências que podem ser aplicadas a qualquer instância da coleção de tipos estruturados de dados, de forma a recuperá-los na combinação desejada;
- Uma coleção de regras gerais de integridade que implícita ou explicitamente, define estados consistentes do banco de dados, ou troca de estados ou ambos (também chamadas de regras de inserção-atualização-deleção).

Para Codd, em qualquer aplicação, o modelo de dados pode ser necessário para definir restrições de integridade, e como consequência definir o menor conjunto de estados consistentes ou de mudanças de estados de um banco de dados. Comparando com o estudo do corpo humano, ele afirma que um modelo de dados deve refletir tanto a anatomia (a coleção dos tipos) como a fisiologia (operadores e regras de integridade), a fim de entender como as estruturas se comportam.

Para Silberschatz et al. [13] o modelo de dados realça a estrutura do banco de dados, pois ele é uma coleção de ferramentas conceituais para descrever dados, relacionamentos entre os dados, semântica dos dados e restrições de integridade. Os vários modelos de dados propostos podem ser categorizados em três tipos: modelo lógico orientado a objeto, modelo lógico orientado a registros e modelos físicos. Os modelos entidade-relacionamento, orientados a objetos, semânticos e funcionais, são considerados modelos de dados pertencentes ao primeiro tipo. Os modelos relacionais, rede e hierárquicos dão suporte na

descrição da implementação do banco de dados, e pertencem ao segundo tipo. Já entre os modelos de dados de baixo nível, que descrevem os dados fisicamente, o autor cita os modelos Unifying e Frame-memory como pertencentes ao terceiro tipo.

Segundo Elmasri e Navathe [14] um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser utilizados na descrição da estrutura de um banco de dados, e que oferece algum nível de abstração, escondendo detalhes de armazenamento dos dados que não são necessários à maioria dos usuários. Esta estrutura de dados é definida como os tipos de dados, os relacionamentos e as restrições que devem existir sobre os dados. É comum também encontrarmos nos modelos de dados orientados a objetos ou objetos-relacionais, a definição de um conjunto de operações básicas de recuperação e atualização no banco de dados (entre elas as operações de incluir, alterar e deletar), e a definição de operações válidas a serem aplicadas aos objetos, definindo o seu comportamento.

Elmasri e Navathe [14] classificam os modelos de dados em três tipos. O primeiro tipo são os modelos conceituais ou de alto nível. Tais modelos se caracterizam por apresentarem conceitos mais próximos da realidade do usuário. O segundo tipo são denominados de modelos de representação ou implementação, e fornecem além dos conceitos próximos e compreendidos pelo usuário final, detalhes de implementação voltados para um SGBD específico. O modelo de dados de objetos pode ser visto como um modelo de representação ou implementação de nível mais elevado, portanto próximo do modelo conceitual. O terceiro e último tipo são os modelos de baixo nível ou físicos. Estão enquadrados nesta categoria os modelos que apresentam os detalhes de armazenamento dos dados no computador. Detalhes de armazenamento tais como formatos de registros, ordenamentos de registros e caminhos de acesso, são definidos no chamado modelo físico ou de baixo nível.

Segundo Borges et al. [17] um modelo de dados geográfico deve:

- Prover alto nível de abstração de modo a permitir a representação dos geo-objetos e geo-campos;
- Representar os diferentes tipos de dados envolvidos em aplicações geográficas tais como pontos, linhas, área, imagens, TIN, etc, usando construções e primitivas apropriadas;

- Representar diferentes tipos de relações espaciais, das simples associações a redes complexas;
- Ser capaz de definir tipos de restrições de integridade espacial;
- Suportar classes geo-referenciadas e classes convencionais, bem como os relacionamentos entre elas;
- Suportar relacionamentos de agregação espacial;
- Representar múltiplas visões de um determinado objeto geográfico;
- Ser capaz de controlar versões e séries temporais, bem como relacionamentos temporais;
- Manter a independência dos dados entre o modelo de dados conceitual e o modelo físico;
- Prover entendimento e visualização simples e clara da estrutura de dados.

Segundo a classificação de Elmasri e Navathe [14] o modelo ACQUA proposto neste trabalho é um modelo conceitual, pois apresenta alto nível de abstração, com conceitos próximos da realidade do usuário, independentemente de limitações impostas por tecnologias, técnicas de implementação ou dispositivos físicos. Portanto, como modelo conceitual de dados, o modelo ACQUA permanecerá imutável, independentemente do SGBD a ser utilizado.

3.2.2 ESQUEMAS DE DADOS

Muitas vezes, o conceito de esquema de banco de dados, é confundido com o conceito de modelo de dados. Apresentamos nesta seção uma definição para esquema de dados e um comparativo com o modelo de dados.

Para Elmasri e Navathe [14] a descrição de um banco de dados é chamada de esquema do banco de dados. O esquema é especificado durante o projeto do banco de dados, e em geral, sofre poucas alterações após a sua implementação. As alterações de esquema surgem geralmente de restrições ou requisitos, impostos pelas aplicações que utilizam o banco de dados. Quanto melhor e mais detalhado for o modelo de dados conceitual utilizado na elaboração do esquema, menores são as chances de alterações frequentes do esquema.

Um esquema de dados é geralmente descrito, utilizando-se uma DDL (Data Definition Language). Através de visões externas, um esquema pode ser personalizado, dependendo do tipo de usuário ou da aplicação que acessa o banco de dados. O estado do esquema de um banco de dados, num dado instante, é a chamada instância de um banco de dados.

Um modelo de dados conceitual ou lógico descreve, portanto, a estrutura de um banco de dados com suas estruturas de dados, regras de integridade e operações sobre os dados, e são elaborados sem levar em consideração um sistema de gerência de banco de dados (SGBD) específico. O esquema de dados por sua vez, é o meta-dados dos dados, descrevendo estruturas e operações a serem implementadas em um SGBD específico, e segundo um modelo de dados elaborado durante a fase de projeto conceitual.

3.3 MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS

Modelos de dados voltados especificamente para SIG têm sido propostos em função das necessidades dos usuários, da disponibilidade dos dados, das fontes de captação e das restrições impostas pelos SIGs adotados. Ao longo do tempo, tais modelos evoluíram, e a eles foram acrescentadas novas extensões visando oferecer uma representação da realidade mais rica semanticamente. Sendo assim, cada modelo de dados para SIG pode ser considerado um modelo inovador, quer pelo acréscimo de novas extensões, características, perspectivas ou aplicações, como podemos observar em [18,19,20,21,22,23,24].

O número de trabalhos apresentados nesta área, principalmente na última década, comprova esta evolução. Alguns desses trabalhos buscam definir padrões de modelo de dados dentro do escopo de SIGs, enquanto outros trazem soluções para problemas já existentes na área. Veremos nesta seção algumas destas propostas consideradas de caráter genérico de suporte a SIGs. As metodologias de orientação objeto e entidade-relacionamento têm norteado a maioria das propostas de representação de SIGs.

Entre as várias propostas baseadas na orientação objeto e voltadas para a representação dos fenômenos geográficos de um modo geral, destacamos o OpenGIS Model [25], e os modelos de dados conceituais utilizados pelo SIGs SPRING [26,27] e ArcInfo [26,28,29].

Seguindo a metodologia entidade-relacionamento, onde os fenômenos geográficos são descritos através das entidades, relacionamentos e atributos, é apresentado na seqüência o modelo “Roads” [30], com representações e regras específicas para o mundo viário. Veremos a seguir os modelos citados acima de uma forma mais detalhada.

3.3.1 OPENGIS MODEL

O OpenGIS Model [25] é um modelo que estabelece um conjunto de requisitos, padrões e especificações para dar suporte aos projetos na área de SIG. Desenvolvido pelo Open GIS Consortium (OGC), uma grande aliança entre agências governamentais, organizações de pesquisa e desenvolvedores de software, o OpenGIS tem como maior objetivo encorajar os desenvolvedores de softwares a aderirem a estes padrões e requisitos, de forma a criar ferramentas, bancos de dados e sistemas de comunicação que maximizem a utilidade dos sistemas e recursos. Uma maior interoperabilidade entre sistemas, através do uso de tipos de dados, processos e funções compatíveis, pode trazer consigo uma melhoria na definição e implementação dos serviços de geoprocessamento.

O OGIS Geodata Model (OGM) apresenta, através de uma hierarquia de tipos, os conceitos básicos para a representação dos objetos geográficos (geodados) definidos pelo Open GIS Consortium (ver Figura 4). Segundo o OGM, o geodado OGIS compreende três grandes componentes: o componente espacial, o componente semântico e o metadado. O componente espacial é representado através de geometrias (como pontos, linhas, polígonos e grids) e referenciamento espaço-temporal (definido como projeções, sistemas de coordenadas e as possíveis transformações). O componente semântico define, através de um catálogo ou um dicionário de dados, o significado de cada elemento representado. Por fim, o componente metadado traz informações adicionais que auxiliam a interpretação dos objetos dentro do contexto pretendido.

O OGM estabelece dois modos distintos de interpretar os objetos geográficos: entidade e fenômeno. Entidades são objetos discretos, identificáveis e relativamente bem-definidos e bem-descritos. Fenômenos são objetos que podem variar continuamente no espaço, e a sua representação é feita somente através de um conjunto de pontos específicos. Para representar

estas duas formas de ver o mundo, o modelo OGM oferece dois tipos geográficos, denominados *features* e *coverages*. O tipo *features* possui representação atômica e a localização é dada em função da definição do objeto. O tipo *coverages* descreve os fenômenos geográficos mais complexos, através de mapas, imagens e campos, cujo domínio é definido em função do espaço e do tempo.

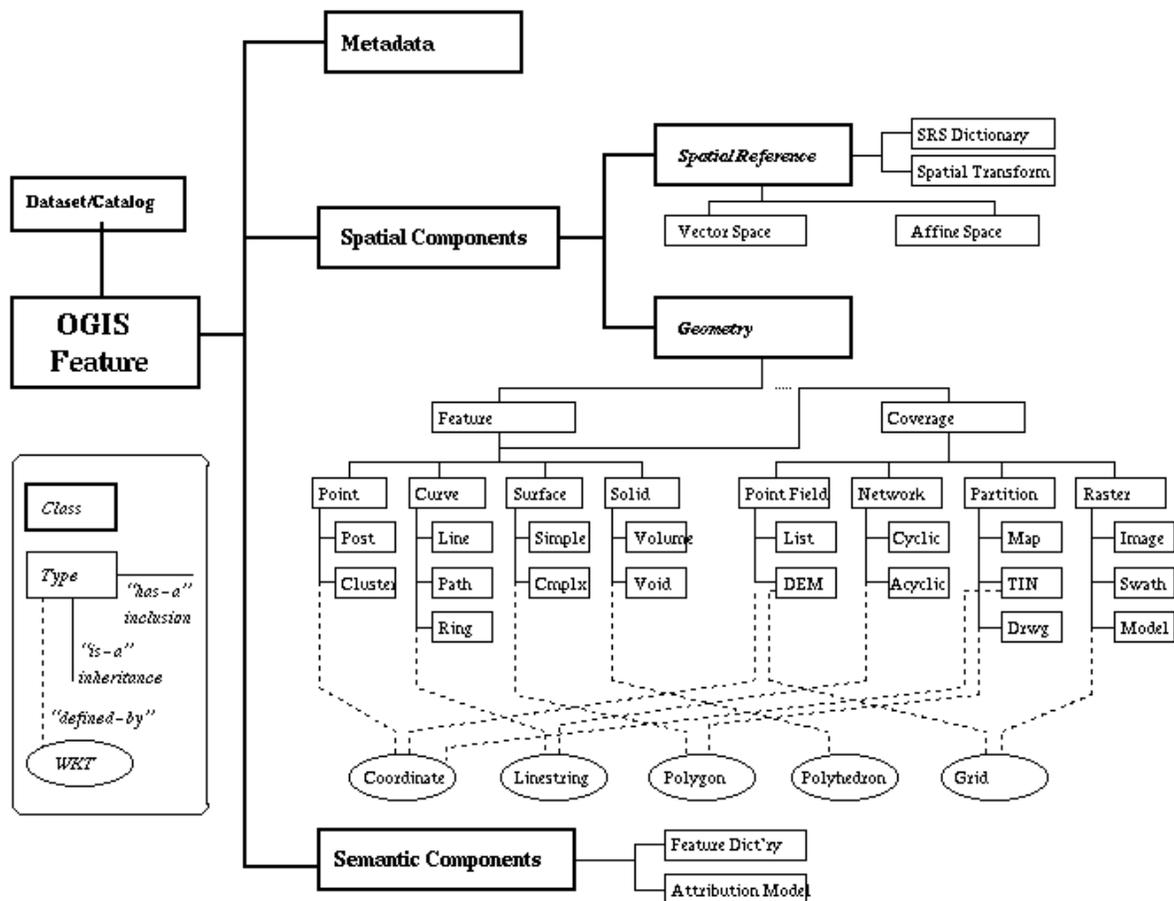


Figura 4 – Modelo OGIS Geodata.

3.3.2 MODELO DE DADOS DO SIG SPRING

O SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) é um SIG desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O modelo de dados conceitual, adotado pelo SPRING [26,27], utiliza uma hierarquia de classes, e baseia a

representação do mundo geográfico em duas grandes classes: Geo-Campo e Geo-Objeto (ver figura 5).

A classe Geo-Campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, e pode ser especializada em Numérico, Temático e Imagem. Para o geo-campo numérico cada ponto do espaço está associado a um valor real, enquanto para o geo-campo temático cada ponto do espaço está associado a um tema de um mapa. No geo-campo imagem, através da discretização da resposta recebida por um sensor, são obtidos todos os pontos da região geográfica. Os Geo-Campos podem estar associados simultaneamente a representações raster ou vetoriais. Os geo-campos temáticos podem ser representados por um mapa de polígonos (vetorial) ou por uma grade de inteiros (raster). Os geo-campos numéricos podem ser representados por mapa de pontos, linhas e rede triangular irregular (vetorial), ou através de grade de ponto flutuante (raster). A relação do Geo-Campo com suas representações são sempre do tipo agregação (tem-um(a)) e não do tipo especialização (é-um(a)).

A classe Geo-Objeto representa elementos únicos e identificáveis, que apresentam atributos não espaciais e localização exata. Para representar a idéia de que o geo-objeto é comumente armazenado em conjunto com os seus demais vizinhos, mantendo as relações de topologia, o SPRING agrupa todos os objetos como instâncias da classe Mapa_de_Geo-Objetos. A associação entre as duas classes é através da relação um geo-objeto É_REPRESENTADO_POR um mapa de geo-objetos. Os Geo-Objetos podem ser representados com diferentes geometrias: mapa de polígonos, mapa de pontos ou uma rede de arcos e nós.

A definição de um banco de dados geográficos no SPRING consiste em criar classes especializadas a partir do modelo básico, em função das necessidades do usuário e da aplicação.

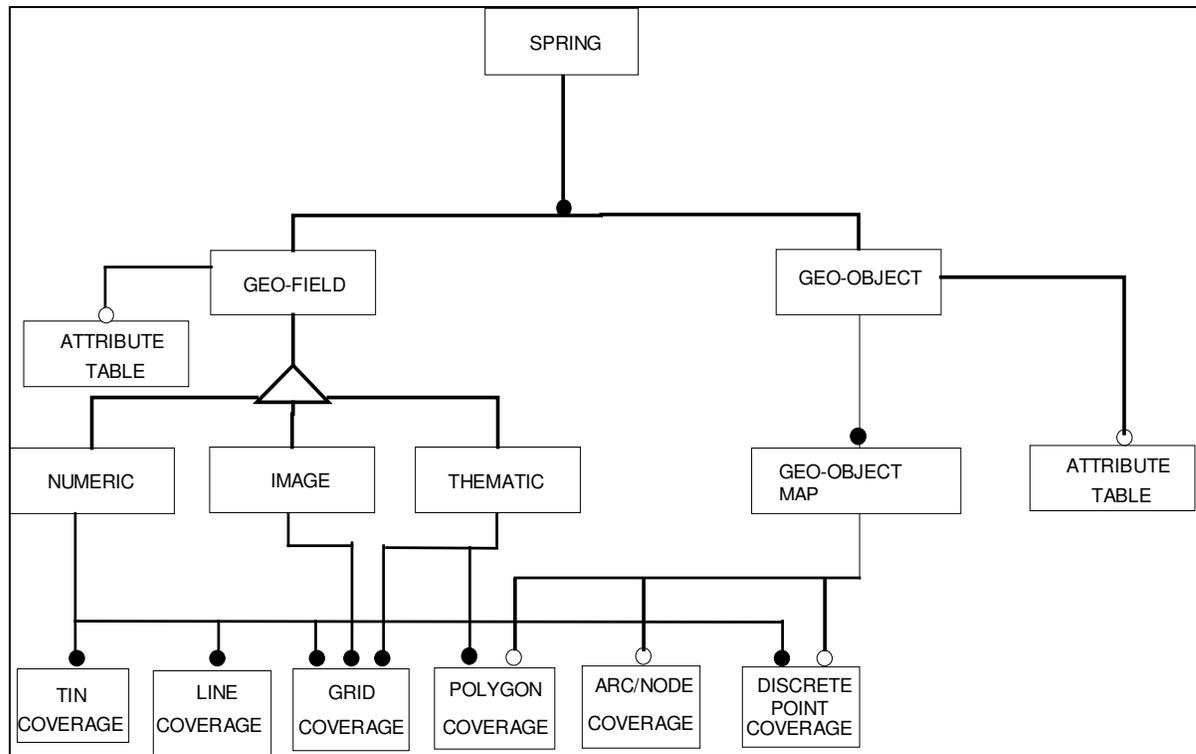


Figura 5 – Modelo de dados do SPRING.

3.3.3 MODELO DE DADOS DO SIG ARCINFO

O ArcInfo é um sistema de informações geográficas, e um dos produtos da família de softwares ARCGIS, desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) sediada em Redlands, na Califórnia [26,28,29]. O ArcInfo é um software utilizado para projetar, construir e gerenciar uma base de dados geográfica, fazer análises de modelos geográficos, criar e publicar mapas e relatórios, construir aplicações para o usuário final e converter dados “para” e “de” vários formatos, usando um vasto conjunto de técnicas de visualização, projeto, impressão e gerenciamento de dados geográficos.

O ArcInfo emprega um modelo de dados híbrido, que pode ser chamado de modelo georelacional ou ainda modelo relacional e topológico. Conceitualmente os fenômenos geográficos são representados por duas classes genéricas: uma posicional e outra descritiva. Os atributos espaciais (ou posicionais) são armazenados utilizando-se uma estrutura vetorial (ponto, linha ou polígono) ou uma estrutura raster (grid, TIN ou imagem). Os atributos

descritivos são armazenados como um conjunto de atributos de uma tabela relacional, e auxiliam na descrição do fenômeno geográfico.

O modelo ArcInfo de uma forma geral não implementa diretamente o conceito de objeto e campo geográfico, e deixa para o usuário a tarefa de definir as entidades abstratas externas e mapeá-las para a representação geométrica mais adequada. No modelo de dados do ArcInfo (apresentado na figura 6) o conceito de objeto geográfico é implementado através das linhas de uma tabela. Cada linha representa um objeto e possui um identificador único. O conceito de campo geográfico, ou campo temático, admite uma representação vetorial através da classe Coverage, ou uma representação raster através das classes Grid ou TIN (Triangular Irregular Network), associadas a uma tabela de atributos (attribute table). A classe Coverage é especializada nas classes ponto, linha ou polígono, que associadas a um ou mais campos de uma tabela de atributos descreve cada fenômeno geográfico. A representação raster para os campos temáticos, utiliza uma grade de inteiros associada a uma tabela de atributos, que indica para cada valor no grid os atributos correspondentes. Para os campos numéricos ou modelos numéricos de terreno, é utilizado o grid de ponto-flutuante ou a rede irregular triangular (estrutura TIN).

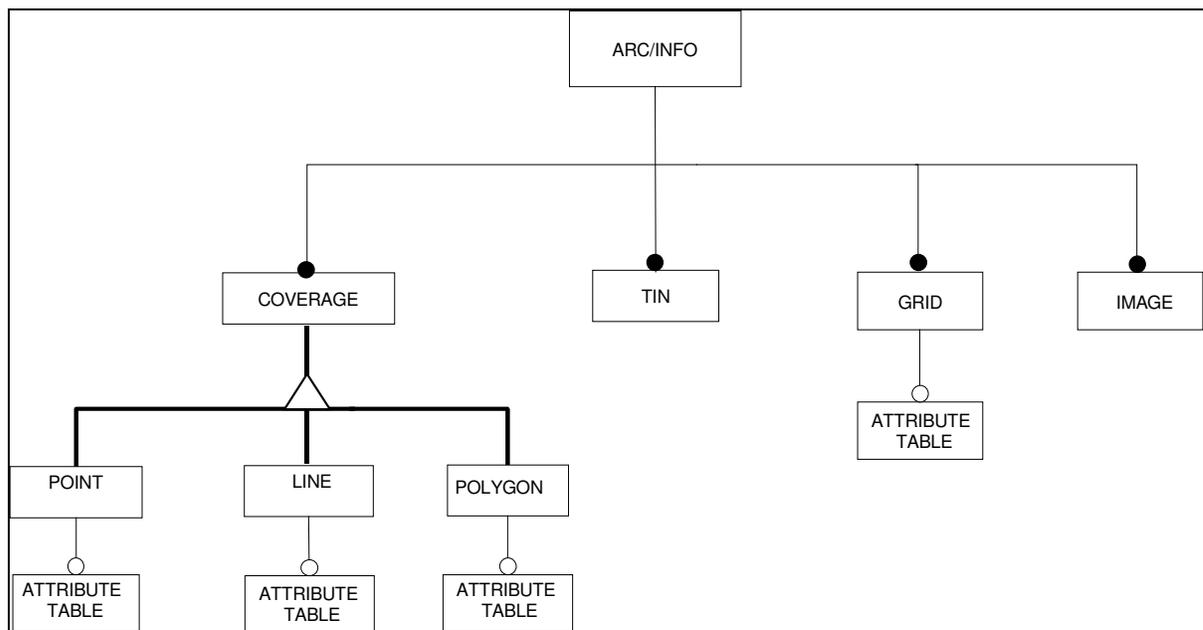


Figura 6 – Modelo de dados do ArcInfo.

Utilizando-se da tecnologia ARCSDE o ArcInfo permite a partir da versão 8, manter a base de dados geográfica armazenada em um dos seguintes bancos de dados relacionais: Microsoft Access, Oracle, SQL Server, Informix ou DB2. A partir da versão 8 o ArcInfo introduziu também a característica da orientação-objeto e apresenta o conceito de geodatabase. O comportamento do objeto de um SIG pode agora ser incorporado à definição do próprio objeto, tornando a sua representação, mais próxima daquela que ele possui no mundo real. O conceito anterior de cobertura (Coverage), ainda é suportado, porém os comportamentos devem ser implementados através de “scripts”, que estão armazenados em aplicações independentes, separados dos dados.

A base de apoio ao conceito de geodatabase, e aos demais objetos utilizados pelos demais integrantes da família ArcGIS (ArcReader, ArcView, ArcEditor, ArcInfo, ArcGIS Server e ArcGIS Engine) é uma nova tecnologia denominada de ArcObjects. O ArcObjects é uma coleção de objetos do tipo COM (acrônimo para a tecnologia Component Object Model da Microsoft). Os componentes do ArcObjects podem ser carregados em todo o software de programação do tipo COM-compatível, tais como Visual Basic da Microsoft, Visual C++ ou Delphi, para desenvolvimento de aplicações voltadas para a representação de fenômenos geográficos.

Como podemos ver no modelo de dados do GEODATABASE (apresentado na figura 7), e parte integrante da coleção de objetos ArcObjects, o conceito de objeto geográfico ainda é implementado através das linhas de uma tabela. Cada linha representando um objeto com identificador único. Uma grande parte de um geodatabase é composta de Workspaces e Datasets, definidas como classes abstratas e das quais derivam os diferentes tipos de Datasets representados pelas classes Feature-Dataset, Feature-Class, Tables, Grids, Imagens e TINs. Cada Workspace é uma coleção de Datasets que pode ser implementada como um diretório de um sistema de arquivos, ou um banco de dados de um SGBD relacional. Para cada tipo de objeto a ser representado, existe uma Workspace correspondente, que pode ser do tipo:

- Workspace ArcInfo: Um diretório que contém Coverages e um subdiretório Info.
- Workspace Shapefile: Um diretório que contém shapefiles da ESRI.
- Workspace Access: Um banco de dados Access da Microsoft contendo tabelas (Tables) e um conjunto de fenômenos geográficos (Feature Datasets).

- Workspace SDE: Uma instância do ArcSDE que contém tabelas (Tables) e um conjunto de fenômenos geográficos (Feature Datasets)..
- Workspace Raster: Uma Workspace que contém Grids e Imagens (Images).
- Workspace Tin: Uma Workspace que contém TINs.

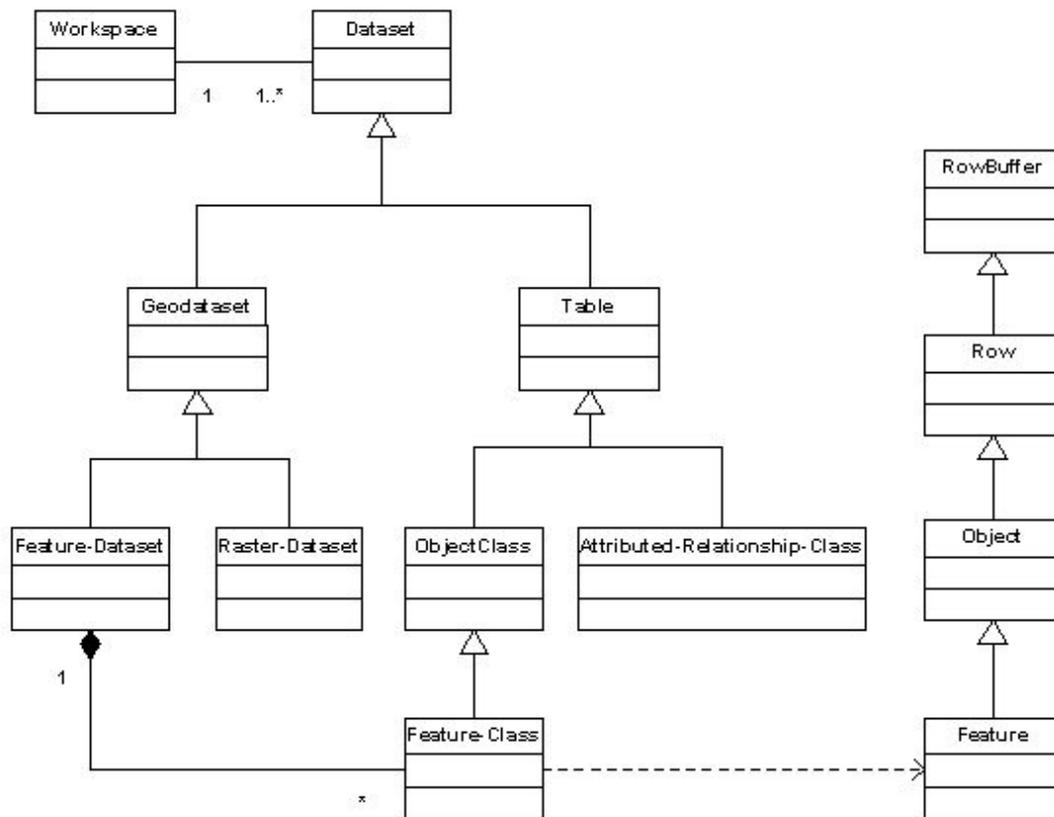


Figura 7 – Modelo de dados do GEODATABASE (Parte integrante do ArcObjects).

Um outro importante subsistema da coleção ArcObjetos é o modelo de dados do GEOMETRY (apresentado na figura 8). O conceito de geometria do fenômeno geográfico é implementado através das colunas da tabela de um banco de dados para os demais tipos de dados, e em arquivos para os tipos Coverage e Shapefile. Entre os tipos básicos de geometria mais comuns estão: pontos, multipontos, polilinhas e polígonos (representados respectivamente pelas classes Point, MultiPoint, Polyline, e Polygon). Polígonos e polilinhas são compostas de uma seqüência de segmentos conectados (classe Segments), que formam caminhos (classe Path) que são generalizações do tipo anel (classe Ring). O tipo segmento é especializado em classes: CircularArc, Line, EllipticArc e BezierCurve. Complementado, o

modelo traz também outros tipos de geometria definidos pelas classes: Envelope, Ray, Sphere, TriangleFan, TriangleStrip, MultiPatch e GeometryBag.

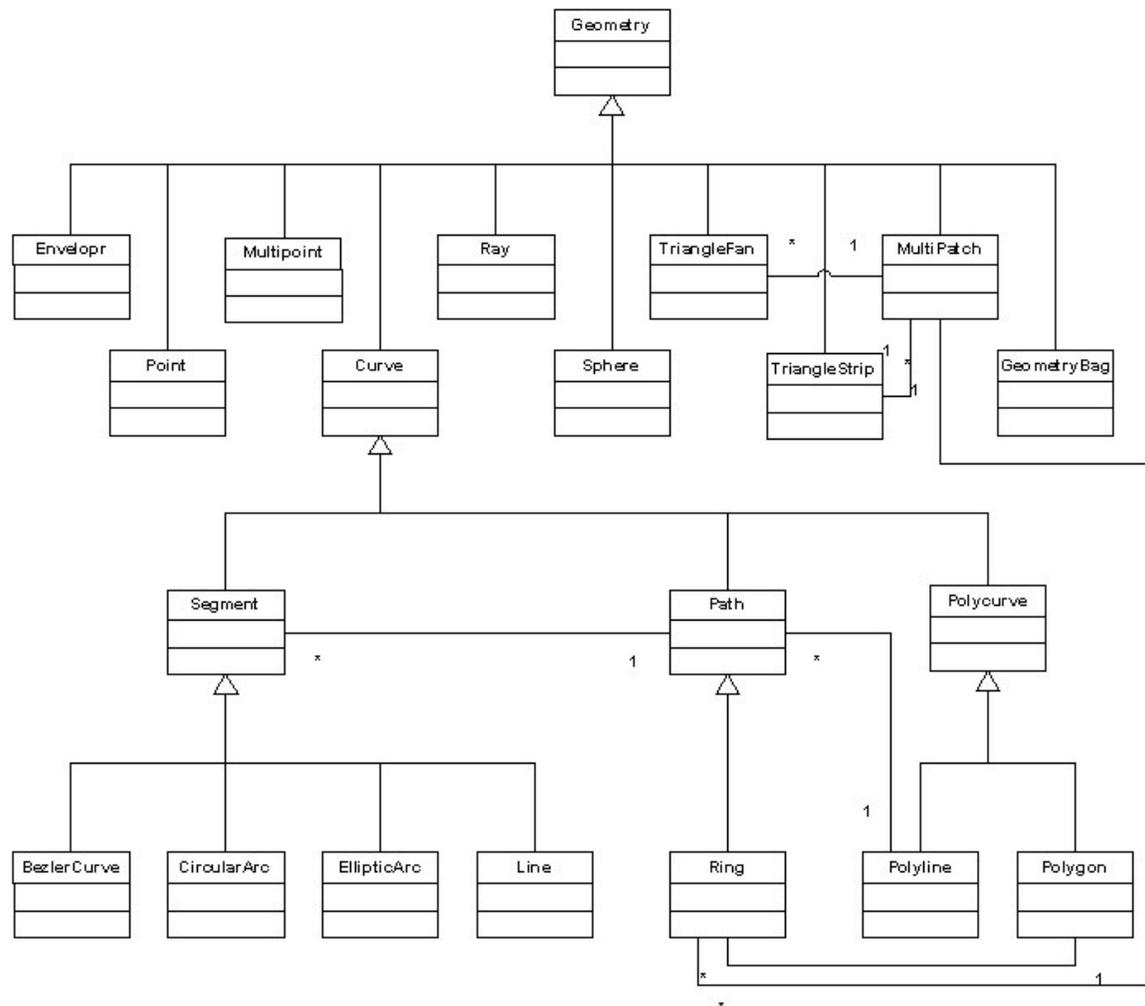


Figura 8 – Modelo de dados do GEOMETRY (Parte integrante do ArcObjects).

3.3.4 “ROADS”

O modelo “Roads” proposto em [30], embora muito específico, oferece suporte para solução do problema da generalização cartográfica ou generalização de mapas, que é um problema comum a ser enfrentado na elaboração das saídas de um SIG. Através de tipos de dados específicos, usados em regras necessárias para o controle automático na generalização de dados de uma malha viária, os objetos selecionados são concebidos, e de acordo com a escala desejada, determinado um modo apropriado de mostrá-los em forma de mapas.

As entidades básicas do modelo são: rota, partição e seção. A rota é um termo genérico, utilizado pelos Estados Unidos, para definir auto-estradas, estradas inter-estaduais, estaduais, rurais e urbanas. A partição distingue um conjunto de dados de uma rota, de outros da mesma rota. O relacionamento rota-partição é um relacionamento n-m, representando que uma mesma partição de mesma rota, pode ter um gerenciamento diferente dependendo da estrutura de generalização. A seção é uma sub-divisão da partição (relacionamento n-m entre partição-seção), e representa pequenos trechos da rota, que podem ou não ser compartilhados por outras rotas. Na prática o modelo representa duas tabelas, sendo uma para seções compartilhadas (os chamados cruzamentos), e outra para seções não compartilhadas.

O modelo busca interpretar seções mais complexas quando, por exemplo, uma rota passa a ter várias pistas com sentidos diferentes, ao invés de uma só pista. Neste caso, o trecho é marcado como complexo, e definido em tabela à parte. Cada pista deste trecho complexo ganha número de seção distinto, e uma coluna específica indicando a direção correspondente (“de” ou “para”).

O modelo proposto apresenta ainda, uma forma automatizada de generalização de mapas, bastante útil para sistemas de informação geográfica, e bancos de dados que tratam de dados espaciais. A generalização cartográfica é requerida, quando se deseja visualizar dados detalhadamente, em grande escala, ou através de uma perspectiva menos detalhada, em pequena escala, suprimindo na visualização muitos detalhes originais. Um operador de simplificação, por exemplo, pode simplificar linhas removendo pontos aleatórios, gerando resultados insatisfatórios, diante da estética desejada para aqueles objetos que se deseja representar. Esta observação aplica-se também a pontos ou polígonos.

Para concluir a análise deste modelo, apresentamos na tabela 1 as regras para generalização de mapas, onde o modelo fornece de acordo com as diferentes escalas, a escolha apropriada do formato da rota. De acordo com a escala escolhida e o tipo, a rota pode ser visualizada ou não, ser representada em forma de linha ou área, e ainda como a mão-dupla, se for representada, deve ser desenhada (completa com bordas internas e externas, ou mínima em forma de linhas simples). Por exemplo, se a rota analisada é uma rota do tipo R1 e a escala escolhida 1:25.000, então de acordo com a regra 12, a rota será visualizada em formato de linha e com o desenho completo da mão-dupla. A “heurística” que guia estas

escolhas baseia-se em um mapa de observações, preenchido a partir de estratégias reais, utilizadas em vários locais do mundo (como por exemplo, Paris, Toronto, Kuwait, Florida, Alpes, etc) para divulgar informações de estradas.

Regras de Representação das Rotas em Função da Escala					
N.Regra	Visualizar	Área/Linha	Mão-dupla	Tipo	Escala Limite
1	Sim	Área	Não	Rampa	10000-14999
2	Sim	Linha	Não	Rampa	15000-24999
3	Não	Linha	Não	Rampa	25000-69999
4	Sim	Área	Completa	R3	10000-14999
5	Sim	Linha	Mínima	R3	15000-24999
6	Não	Linha	Não	R3	25000-69999
7	Sim	Área	Completa	R2	10000-14999
8	Sim	Linha	Mínima	R2	15000-24999
9	Sim	Linha	Não	R2	25000-59999
10	Não	Linha	Não	R2	60000-599999
11	Sim	Área	Completa	R1	10000-19999
12	Sim	Linha	Completa	R1	20000-29999
13	Sim	Linha	Mínima	R1	30000-149999
14	Não	Linha	Não	R1	150000-999999

Tabela 1. Representação de Rotas X Escala.

3.4 MODELOS DE DADOS PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Alguns trabalhos buscam soluções para problemas específicos de uma determinada área. Nesta seção analisaremos algumas propostas direcionadas para o domínio hidrologia ou recursos hídricos, com suporte a SIGs. Entre os modelos analisados estão três propostas práticas, desenvolvidas por instituições públicas (UFPe, COGERH e SUDERHSA), e três propostas científicas, direcionadas para sistemas de informação de recursos hídricos.

3.4.1 MODELO DE DADOS SIGMA 2001

Em [31] é proposto um modelo de dados específico para o gerenciamento de recursos hídricos dentro do projeto SIGMA 2001 - Sistema de Informações para Gestão do Meio Ambiente Ênfase Recursos Hídricos. Este projeto desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco, Grupo de Recursos Hídricos e Departamento de Engenharia Civil, tem por objetivo o gerenciamento integrado de aquíferos da região metropolitana do Recife.

O projeto apresenta dados sobre poços, bacias, estações de monitoramento hidrometeorológicas (fluviométricas, evaporímetros, pluviométricas, de umidade e temperatura), barragens e municípios. Com um aplicativo específico e utilizando-se de figuras em formato wmf, previamente elaboradas, os dados podem ser visualizados de forma georeferenciada. O mesmo aplicativo permite ainda, a realização de consultas e atualizações de alguns dados cadastrais, além da emissão de relatórios montados pelo usuário.

Em relação ao modelo de dados, o projeto define suas principais entidades através de atributos não-espaciais. Sem levar em conta a geometria, os objetos possuem uma localização determinada por coordenadas x e y (latitude e longitude), utilizadas para visualização. A visualização é feita em forma de símbolos (legendas), sob um plano de fundo fixo, correspondente ao mapa da cidade do Recife. O modelo foi implementado sob a plataforma MS/Windows, e os dados armazenados em bancos de dados ACCESS.

O modelo de dados é incipiente, diante do objetivo do projeto de gerir o meio ambiente com ênfase nos recursos hídricos. A falta do componente espacial, ou seja, a representação espacial dos objetos, torna o modelo inadequado para o uso em SIGs, embora alguns dos seus conceitos podem ser úteis na gestão do meio ambiente.

3.4.2 MODELO DE DADOS COGERH

A segunda iniciativa avaliada [32], corresponde à proposta de modelo de dados apresentada pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos), ligada à Secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado do Ceará. A COGERH atua, mais especificamente, no controle da demanda e oferta de água bruta, para os mais variados fins, tais como a

indústria, irrigação, abastecimento urbano e rural, etc. Faz parte do seu trabalho, a realização de campanhas periódicas de análise da qualidade da água. De uma maneira geral, a COGERH exerce um controle sobre todas as bacias hídricas, canais, açudes, rios e lagos do Estado.

O modelo de dados COGERH está baseado no modelo E-R, e as principais entidades são: *bacia*, *açude*, *canal*, *rios*, *seção_de_rio*, *campanha_de_medição*, *campanha_de_qualidade*, *amostra*, *parâmetro* e *posto_de_monitoramento*. A entidade *campanha_de_medição* representa as atividades relativas à medição de vazão da água em rios, açudes e canais. Na entidade *campanha_de_qualidade* estão representados os dados relativos ao monitoramento da qualidade da água. De acordo com tipo de campanha de qualidade realizado, fatores como a análise físico-química da água, a presença de coliformes fecais ou clorofila “A”, ou ainda níveis de salinidade dos principais açudes ou rios do Estado podem ser analisados. Estão representadas no modelo, as entidades *parâmetro* e *amostra*, onde são determinados os fatores avaliados nas diversas amostras coletadas durante uma campanha. A entidade *posto_de_monitoramento* representa pontos fixos de coleta de dados hidrometeorológicos, que servem aos dois tipos de campanha. A entidade *irrigação* representa a área de irrigação através das entidades *propriedades*, *proprietários*, *perímetros irrigados*, *irrigantes*, *métodos de irrigação*, *culturas* e *coeficientes de culturas*. O *posto de monitoramento* é a entidade que armazena todos os dados referentes ao controle da demanda e oferta da água. O modelo de dados COGERH representa ainda as entidades *usuário*, *perímetro irrigado* e *irrigante*, complementando o modelo com os dados dos beneficiários diretos do sistema.

A COGERH mantém em arquivos proprietários do aplicativo ARC/VIEW, a representação espacial de suas principais entidades, mas totalmente dissociadas do modelo atual proposto. Sem o suporte à representação espacial, o modelo de dados COGERH serve de base para sistemas de informações convencionais, mas limita a criação de um sistema de informação geográfica.

3.4.3 MODELO DE DADOS SUDERHSA

O terceiro modelo analisado foi desenvolvido pela Superintendência de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná – SUDERHSA [33]. Dentre os

modelos analisados, este é o mais completo, tanto na abrangência, em termos de recursos hídricos, como na representação dos dados, quer espaciais ou não espaciais.

O foco central é a captação e outorga da água, e dele partem as demais representações, descritas através de um modelo E-R. O mundo hídrico, segundo o modelo, está dividido em águas subterrâneas e águas superficiais, representadas respectivamente pelas entidades poços e rios. A captação da água é representada pela entidade ponto de captação, para daí seguir a um dos usuários, especializados através dos seguintes tipos: aterro; barramento; retificação; comércio-serviço; indústria; agricultura e pecuária. A entidade estação, através de seus inúmeros relacionamentos, concentra as atividades de controle de descarga, análise de qualidade da água, avaliação cota-vazão e medição de consumo.

O modelo extrapola a visão do mundo hídrico, quando incorpora representação de áreas correlatas. Embora apresentadas como sub-modelos, sem um relacionamento direto entre si, as seguintes áreas correlatas são destacadas pelo modelo:

- Solo e uso do solo;
- Agropecuária;
- Legislação sócio-econômica;
- Infra-estrutura;
- Obras e edificação;
- Energia elétrica;
- Telecomunicações;
- Sistema viário;
- Abastecimento público,
- Esgotamento sanitário;
- Resíduos sólidos;
- Plano de despoluição.

Objetos com representação espacial estão identificados no modelo, através do atributo fid (file identification), que aponta para onde estão armazenados os atributos espaciais. Para auxiliar na identificação do tipo de representação espacial, as palavras ponto, linha e

polígono, são acrescentadas ao nome da entidade, como por exemplo, nas entidades geologia_ponto, geologia_linha e geologia_polígono.

O modelo é representativo da infra-estrutura e da realidade hídrica do Paraná, e pode servir como base para um SIG. O bom detalhamento dos atributos não-espaciais aliado ao vasto domínio são fatores positivos do modelo.

3.4.4 MODELO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA HIDROLOGIA PROPOSTO POR CLODOVEU ET AL.

Clodoveu et al. [34], propõe um modelo de dados geográficos para hidrologia, visando explorar as possibilidades de uso desta tecnologia em estudos hidrológicos de consistência de dados. Seguindo a metodologia de orientação objeto, o modelo proposto busca representar exclusivamente os geo-objetos, portanto não representando conceitualmente os chamados geo-campos.

O modelo descreve a hidrologia através de quatro grandes classes básicas: Bacia Hidrográfica, Sub-bacia Hidrográfica, Trecho de Rio e Nós da Rede Fluvial (Ver figura 9). A classe Nó da Rede Fluvial é especializada em outras três classes denominadas: Estação Fluviométrica, Usina Hidrelétrica e Confluência. Outras cinco classes (sem representação espacial), estão relacionadas com a classe Estação Fluviométrica, e representam dados relativos à medida de cota e vazão.

O modelo traz conceitos básicos e apresenta a hidrologia de uma forma simplificada. Diversos elementos ligados à gestão dos recursos hídricos foram omitidos, como por exemplo, lagos, poços, obras de derivação, canais e adutoras, e constam como linhas de expansão sugeridas pelos próprios autores para refinamento do modelo.

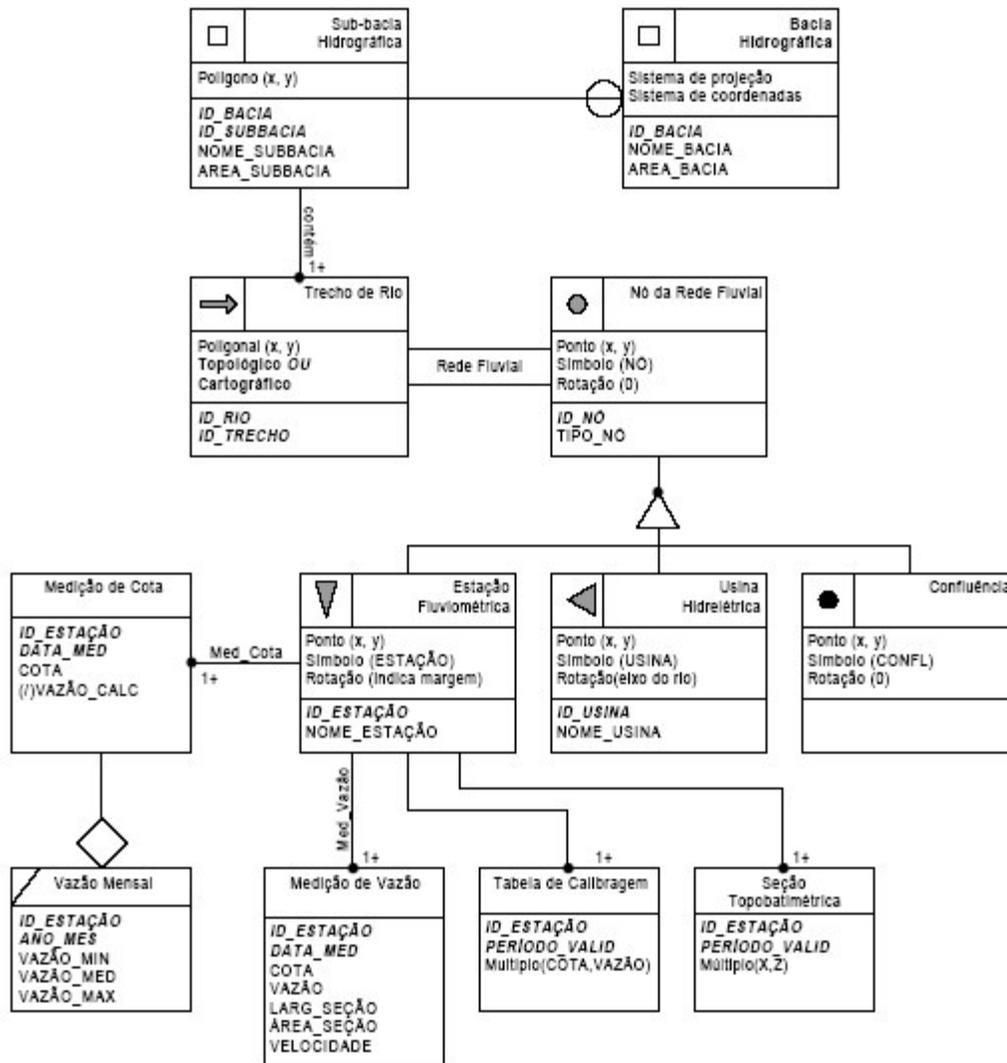


Figura 9 – Modelo de dados geográfico para hidrologia.

3.4.5 MODELO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PROPOSTO POR CLODOVEU ET AL.

Clodoveu et al. em [35], propõe ainda um modelo para sistemas de informação de recursos hídricos, e apresenta a hidrologia como grandes classes, representando os seguintes temas: Hidrografia; Altimetria; Vegetação; Uso e Ocupação do Solo; Geologia; Geomorfologia; Dados Sócio-econômicos e Divisões Municipais.

O detalhamento do modelo, como apresentado nas figuras 10 e 11, ocorre para os temas altimetria, hidrografia, mapeamento hidrogeológico, geologia e geomorfologia. Para a altimetria o modelo propõe as classes Pontos Cotados e Curvas de Nível. Na hidrografia estão representados através de classes, os lagos, os rios, trechos de rios e nós de rede. Ligando os temas altimetria e hidrografia, aparece o tema bacias hidrográficas, representado pelas classes MDT (Modelo Digital de Terreno) e Bacias Hidrográficas. A classe Bacias Hidrográficas é especializada em classe Escoamento Direto e classe Sub-bacia. E finalmente, ligando os temas geologia, geomorfologia e hidrologia, esta o tema mapeamento hidrogeológico, que é representado pela classe de mesmo nome, e relaciona-se ainda com as classes Estação Meteorológica e Ponto de Captação Subterrânea.

O artigo propõe que o modelo sirva como estrutura básica de um SIG para gestão de recursos hídricos, mas ressalta a necessidade de maior detalhamento e aprofundamento. Embora o modelo estabeleça o relacionamento da área de hidrografia, com outras importantes áreas como a geologia e a geomorfologia, assim como no modelo apreciado anteriormente, falta a conceituação de diversos elementos. A conceituação de elementos tais como lagos, poços, obras de derivação, canais, adutoras, e seus relacionamentos, contribuem para um melhor gerenciamento de áreas, como exemplo, a outorga do direito ao uso da água, qualidade da água, equacionamento do problema oferta/demanda e irrigação.

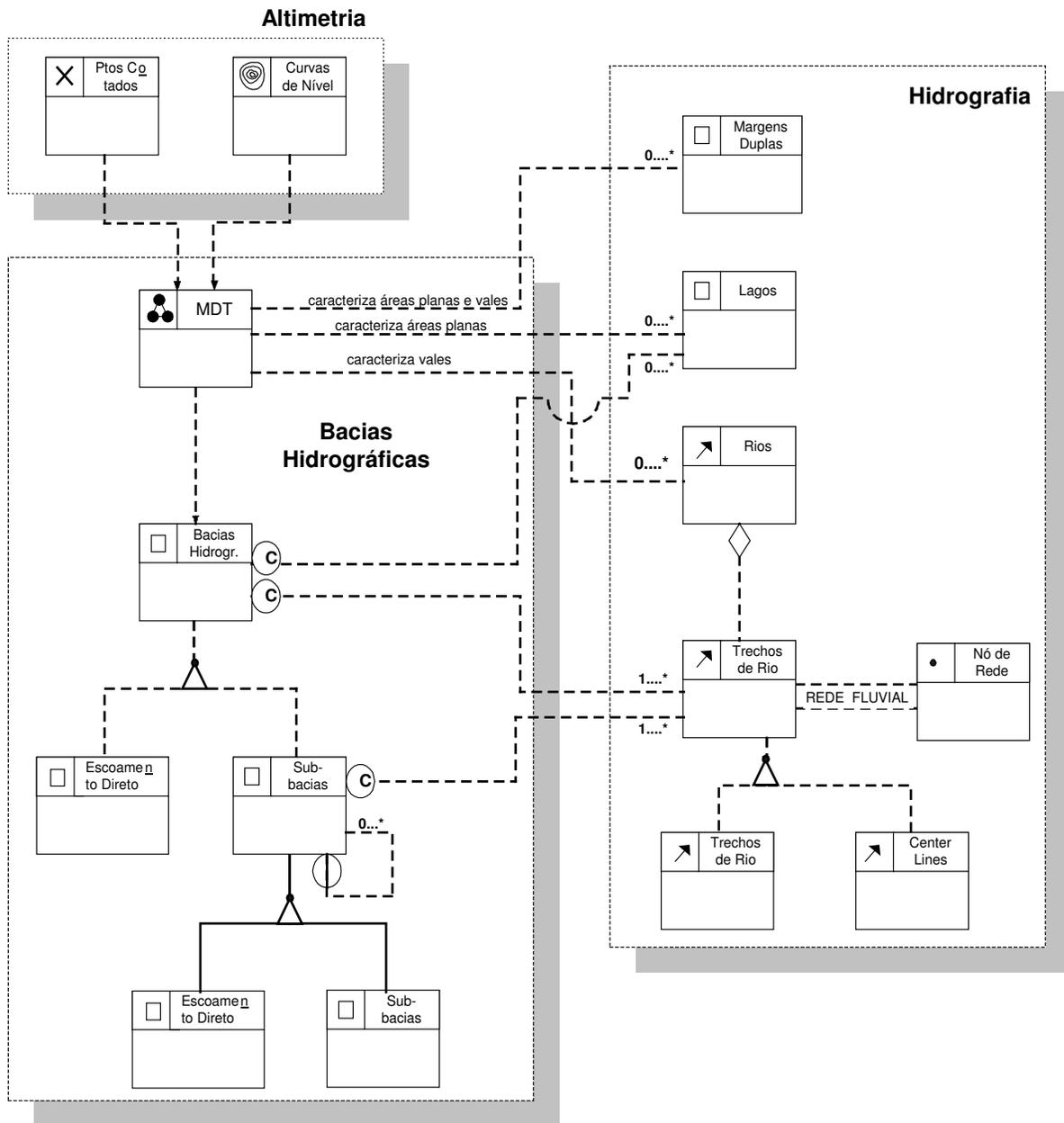


Figura 10 – Altimetria, bacias hidrográficas e hidrografia.

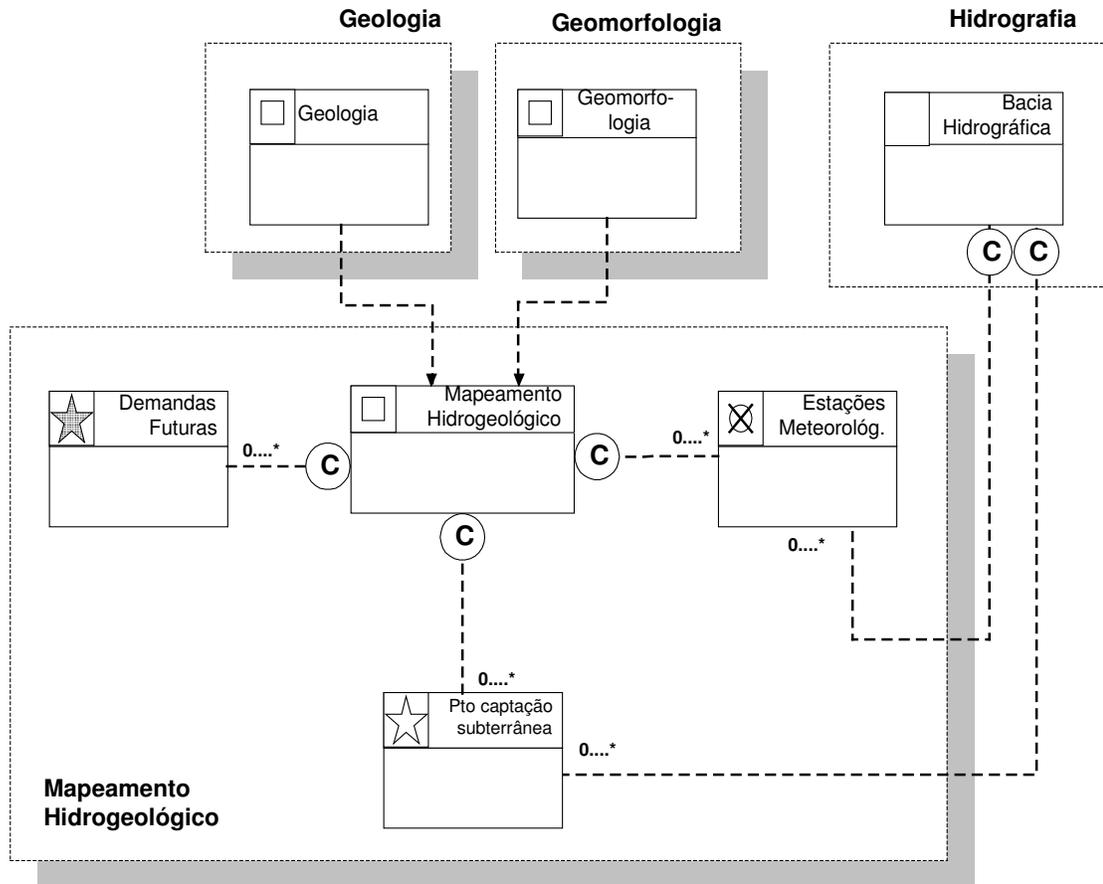


Figura 11 – Mapeamento hidrogeológico, geologia, geomorfologia e hidrografia.

3.4.6 MODELO SIGERCO/RS

Em [36] é discutido os detalhes de adaptação do modelo de dados orientado a objetos OMT (uma biblioteca de classes com extensões ao modelo orientado a objetos tradicional) para utilização das aplicações em SIG, e apresentado exemplos de modelos de dados conceituais na área ambiental. Entre os exemplos, está a proposta de um modelo conceitual de dados para o sistema SIGERCO/RS (Sistema de Gerenciamento Costeiro, da Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul – FEPAM/RS).

A nossa análise a seguir, é restrita aos dois modelos apresentados na proposta, e não sobre os detalhes dessa adaptação ao modelo OMT, seguindo com a idéia do capítulo de avaliar propostas de modelos de dados para gerenciamento de recursos hídricos.

A figura 12 traz o primeiro modelo de classes proposto neste trabalho, e retrata o tema Macrozonamento Costeiro (Projeto GERCO) através da visão de geo-campos. Os geo-campos são representados através de seis classes básicas, de acordo com o tipo de dado, e definidas como: Amostragem Regular, Linhas de Contorno, Polígono, Rede Triangular, Amostragem Irregular e Grade Regular. Este modelo conceitual mistura representação geométrica com classes de campos, onde deveria ter apenas as classes.

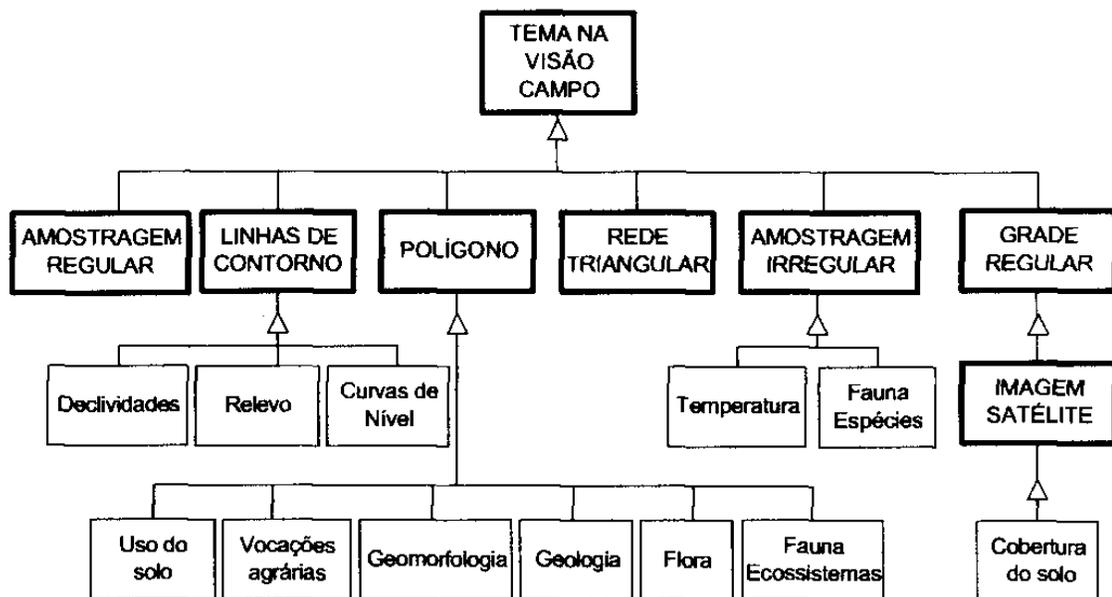


Figura 12 – Modelo de dados na visão de campo.

Na figura 13, temos um segundo modelo proposto, que traz informações sobre os temas sócio-economia, licenciamento para uso dos recursos hídricos (poluentes) e hidrografia, e apresenta as classes modeladas na visão de geo-objetos. O modelo propõe para o tema hidrografia, uma hierarquia de classes definida como Bacia, Sub-bacia e Recurso Hídrico. Os relacionamentos com os objetos dos temas sócio-economia, licenciamento e monitoramento recursos hídricos, se dá através da classe Recurso Hídrico. Na especialização da classe Recurso Hídrico estão identificadas três classes: Rio, Lago e Oceano.

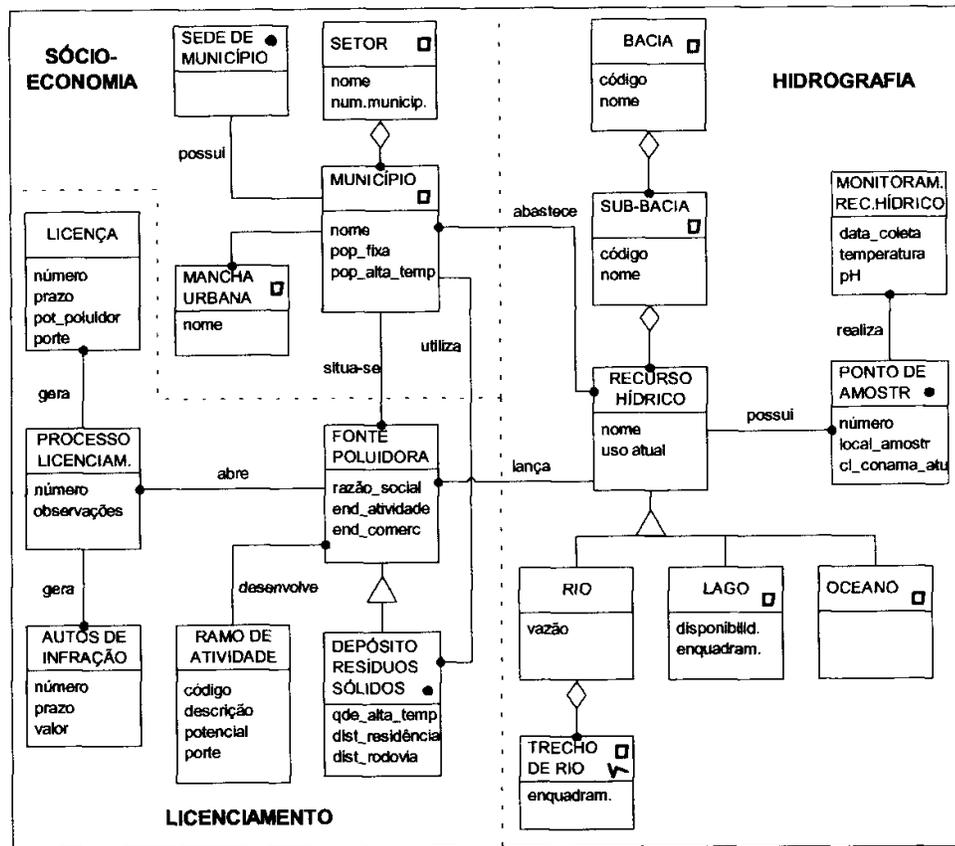


Figura 13 – Modelo de dados na visão de objetos.

Como exemplo, os modelos retratam algumas das principais classes da área ambiental, e demonstram a viabilidade prática do modelo conceitual para aplicações geográficas em SIG. Como modelo conceitual, o modelo na visão de objetos traz uma simplificação na representação dos temas, em especial a hidrografia. Levando-se em conta que é apenas um exemplo da área costeira, estas simplificações devem ser intencionais, e não prejudicam o objetivo principal que é o de demonstrar a validade na aplicação do modelo OMT. Como contribuição maior para o gerenciamento de recursos hídricos, podemos destacar a representação de classes que tratam de agentes poluentes e das fontes poluidoras, que tanto afetam a qualidade da água nos centros urbanos.

4 MODELO ACQUA

4.1 INTRODUÇÃO

Conforme analisado no capítulo 3, os modelos de dados propostos para representar dados geo-referenciados, apresentam limitação no que diz respeito à representação de dados no mundo recursos hídricos. Por este motivo este trabalho propõe o modelo ACQUA.

O modelo ACQUA é um modelo de dados conceitual para gerenciamento de recursos hídricos em ambientes de sistemas de informações geográficas. A proposta do modelo é oferecer uma visão detalhada de todos os corpos e estruturas hídricas de um sistema de informações de recursos hídricos e seus relacionamentos topológicos, representados através de classes convencionais e classes geo-referenciadas.

Este capítulo está organizado como descrito a seguir. Na seção 4.2 são apresentadas as características gerais do modelo, o padrão de análise utilizado e o foco do estudo. A seção 4.3 mostra as funcionalidades do modelo, e exemplos de como o modelo provê o suporte semântico necessário para o gerenciamento dos recursos hídricos. A seção 4.4 apresenta um cenário exemplo demonstrando a aplicabilidade do modelo, tomando como base uma região semi-árida. A análise do modelo, na prática, torna mais claro o entendimento do modelo e das classes a serem apresentadas na seção 4.5. A seção 4.5 apresenta o modelo de forma detalhada, descrevendo todas as classes básicas propostas, o relacionamento topológico representativo de uma rede hídrica, e áreas complementares, que através de suas classes buscam dar suporte ao gerenciamento de recursos hídricos. A seção 4.6 encerra o capítulo, com uma discussão sobre modelo ACQUA, relativas à sua aplicabilidade e contribuição científica, principalmente quando comparado aos outros modelos apresentados.

4.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os componentes do modelo ACQUA são apresentados através de um diagrama de classes, utilizando para tanto, os conceitos e padrões da linguagem UML (Unified Modeling Language).

O modelo ACQUA está voltado, exclusivamente, para o estudo do ciclo das águas superficiais, representando todos os corpos e estruturas hídricas envolvidos na oferta, demanda, outorga e qualidade de água, e fornecendo uma visão integrada do espaço modelado, apresentando as relações topológicas possíveis entre esses objetos geográficos (*geo-objetos*). O estudo das águas subterrâneas e as chamadas classes representativas dos campos geográficos (*geo-campos*), não estão contemplados, e ficam como sugestão para linhas de expansão ao modelo.

4.3 FUNCIONALIDADES

As informações do modelo ACQUA, no campo da hidrologia/hidrografia, servem de base para modelos de simulação de cenários e estudos de impacto da implantação de novas obras hídricas.

Entre outras características, o modelo deverá garantir:

- Gerenciamento dos dados espaciais de todas as entidades envolvidas em um complexo sistema hídrico;
- Representação das informações históricas (séries históricas) ligadas ao monitoramento dos recursos hídricos;
- Monitoramento da demanda (usos industriais, agrícolas, turísticos e urbanos da água);
- Informações da operação de hidrosistemas;
- Monitoramento hidroambiental (parâmetros como fluviometria, estoque de água, pluviometria, etc.);
- Avaliação da quantidade de água disponível para oferta.

O modelo proposto provê o suporte semântico necessário para responder, dentre outras perguntas:

- Qual a representação gráfica de todos os corpos hídricos de uma determinada região hidrográfica?
- Quanto e quais irrigantes têm outorga para fazer uso dos recursos hídricos de um determinado corpo d'água?
- Qual a vazão requerida por outorgas para fazer uso dos recursos hídricos de um determinado corpo d'água?
- Qual foi a regra de operação de um determinado açude durante a estação seca de um determinado ano?
- Como tem evoluído a turbidez média e o volume de um determinado açude?
- Qual o aporte de água de água, ao longo dos anos, de um determinado açude?
- Qual o número de poços cadastrados em uma determinada região hidrográfica?
- Quanto consome de água 1 hectare plantado com uma determinada cultura, num determinado município, aplicando um determinado método de irrigação?
- Qual foi o comportamento entre o esvaziamento planejado e o ocorrido, em um determinado ano para um determinado açude?
- Como estão distribuídos espacialmente os poços monitorados?
- Como tem evoluído a vazão consumida em um determinado trecho de rio?
- Como tem evoluído a salinidade da água de um determinado açude?
- Qual o volume pluviométrico de uma determinada região hidrográfica?

4.4 CENÁRIO EXEMPLO

Na prática, um rio pode ser avaliado como um todo, abrangendo toda a sua bacia hidrográfica, ou por partes, tendo em vista estudos detalhados de uma região. O modelo ACQUA comporta a descrição de atributos gerais para corpos hídricos como um todo, e ainda atributos específicos de cada trecho representado.

No cenário descrito nesta seção, demonstraremos a aplicabilidade do modelo conceitual proposto, através de uma análise detalhada de um rio imaginário, chamado rio Mandacaru, embora descrevendo estruturas reais. Sem prejuízo do entendimento da estrutura e do comportamento de um rio, desprezamos os afluentes e efluentes, e nos concentramos na análise do leito principal do rio. Como veremos no decorrer da análise, o modelo prevê a representação das confluências, sejam afluentes ou efluentes, e de outros detalhes que formam a topologia de um rio.

De qualquer forma, serão apresentados nesta seção as principais entidades e seus relacionamentos, envolvidos na representação de um rio. Um rio pode ser entendido como uma seqüência de seções, onde cada seção representa um trecho do rio. Cada seção do rio Mandacaru possui pontos delimitadores de início e de fim de cada trecho, e cada ponto delimitador é tratado como um ponto de singularidade, que tem atributos espaciais e não espaciais.

Suponha que o Rio Mandacaru possua a topologia, como apresentado na figura 14. Por exemplo, o ponto B representa um ponto de singularidade, que por sua vez captura a semântica de final da seção 1 e início da seção 2 do Rio Mandacaru. Atributos não-espaciais para o ponto B poderiam ser código, descrição e vazão. Por outro lado, localização geográfica, representação gráfica e atributos derivados desta representação, como medidas de área e comprimento, representariam os atributos espaciais daquele ponto.

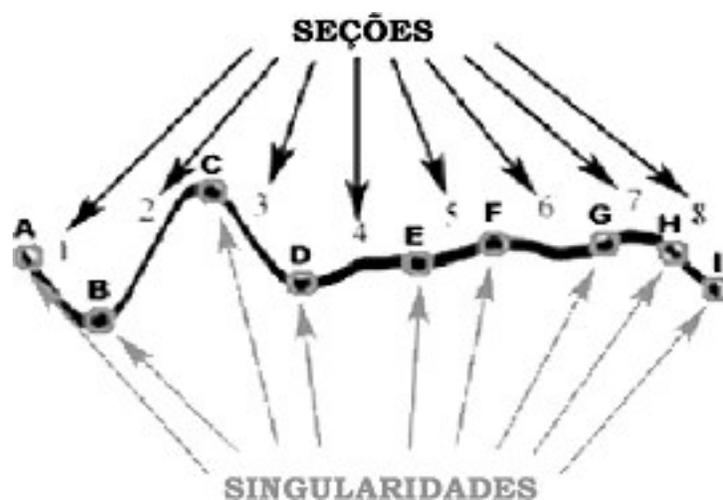


Figura 14 - Topologia do rio Mandacaru.

Se considerarmos o leito do rio Mandacaru em toda a sua extensão, que atravessa diversas regiões com relevos diferentes, a supervisão e análise tornam-se mais racional e prática, se dividirmos o rio em seções, da sua nascente até a sua foz. A identificação de singularidades ajuda também o entendimento e a análise dos problemas relacionados a cada seção do rio. Observe que o leito do rio Mandacaru está dividido em oito seções. Em geral, uma seção, seja de rios, canais ou adutoras, é identificada através de características similares ao longo de um determinado trecho (como, por exemplo, vazão, profundidade, largura, etc.), e delimitada por pontos específicos, representados aqui pelas singularidades. É interessante notar que a singularidade que representa o ponto final de uma seção pode também representar o ponto inicial da próxima seção. Outra observação importante é que a singularidade pode ser um ponto de ligação para outra seção ou outra rede hídrica, com seus canais, adutoras, conjunto de reservatórios, conjunto de poços, ou simplesmente outro rio.

A seguir apresentaremos as seções do rio Mandacaru, com seus respectivos pontos de início e de fim (ver Tabela 2), acompanhado de breves conceitos de cada um desses pontos. Se observarmos na Tabela 2, uma mesma singularidade, chamada de ponto de inflexão, representa o ponto final da seção 2 e o ponto de início da seção 3. A singularidade ponto de inflexão representa uma curva fechada, alargamento, redução, elevação ou queda brusca de nível, em certas seções de uma adutora, canal ou rio. Um canal ou adutora conduz a água para outros reservatórios, poços, canais e adutoras, que podem ser objetos hídricos pertencentes a uma outra rede hídrica, isto é, eles podem não pertencer à mesma rede hídrica do rio Mandacaru. Em seguida, temos uma obra de derivação que é uma importante estrutura hidráulica (como, por exemplo, uma estação de bombeamento d'água), construída para transferir água para outra estrutura hidráulica, tal como uma adutora ou canal. Em geral, infelizmente, a água suja ou já utilizada e sem tratamento, retorna aos rios através de outras estruturas hidráulicas, chamadas de obras de lançamento (esgotos). Por esta razão, postos de monitoramento devem ser instalados para controle da qualidade da água. O rio que atinge o rio principal, chamado afluente, ou cada ramificação do leito principal, denominado de efluente, representa uma confluência. O leito do rio Mandacaru apresenta ainda, uma obra de contenção (popularmente conhecida como barragem), e o estágio final da água determinado pela foz.

Ponto Inicial (Singularidade)	Número da Seção	Ponto Final (Singularidade)
Nascente	1	Ponto de Inflexão
Ponto de Inflexão	2	Obra de Derivação
Obra de Derivação	3	Barragem
Barragem	4	Obra de Lançamento
Obra de Lançamento	5	Postos de Monitoramento
Postos de Monitoramento	6	Ponto de Inflexão
Ponto de Inflexão	7	Confluência
Confluência	8	Foz

Tabela 2. Seções do rio Mandacaru.

O exemplo do rio Mandacaru pode ser estendido para outros corpos ou estruturas, como os canais e adutoras, assim como, o conceito de singularidades pode ser aplicado a rios, lagoas, reservatórios, poços, canais e adutoras. Como veremos no próximo capítulo, através do modelo conceitual proposto, todas estas estruturas estão de certa forma interligadas, e juntas são consideradas peças chaves na representação de um sistema hídrico.

4.5 APRESENTAÇÃO DO MODELO

Nesta seção detalharemos o modelo conceitual proposto para a área de recursos hídricos. Serão apresentados todos os níveis da hierarquia de classes do modelo ACQUA, iniciando pelo nível 0, que representa as classes mais genéricas, também chamadas de classes primitivas. Os demais níveis (1,2,...,n) surgem a partir da especialização de classes primitivas, levando-se em conta características marcantes que as distinguem entre si. Os aspectos semânticos e os aspectos operacionais foram considerados, quando especificados os relacionamentos entre as várias classes.

4.5.1 NÍVEL 0 (CLASSES PRIMITIVAS)

A figura 15 apresenta a primeira classe primitiva (classe pai) na hierarquia do modelo, denominada de classe REC_HIDRICO. Esta classe REC_HIDRICO representa de forma

generalizada todos os recursos hídricos, e apresenta quatro importantes relacionamentos. O primeiro, na forma de composição com a classe BAC_HIDROGRAFICA, representando que uma bacia hidrográfica é composta de recursos hídricos. A classe BAC_HIDROGRAFICA relaciona-se com a classe REG_HIDROGRAFICA, também na forma de composição, indicando que uma região hidrográfica é composta de uma ou mais bacias hidrográficas. Uma região hidrográfica abrange uma área de maior extensão que uma bacia hidrográfica, e em geral, recebe o nome do rio mais importante, de maior extensão ou com maior contribuição hídrica para uma determinada região. Já o conceito de bacia hidrográfica, é aplicado a cada rio do sistema hídrico, e sua abrangência é determinada em função da extensão do leito principal, de seus efluentes, e do relevo do terreno.

O segundo relacionamento da classe REC_HIDRICO é com a classe ALTIMETRIA. Definido em UML como uma associação unidirecional, este relacionamento indica que todo recurso hídrico, assim como toda bacia hidrográfica, tem uma representação altimétrica. A classe ALTIMETRIA completa a sua representação através das classes PTOS_COTADOS e CURVAS_NIVEL.

O terceiro relacionamento da classe REC_HIDRICO é com a classe SISTEMA_DE_REFERENCIA_DE_COORDENADAS. Para representarmos um dado geográfico necessitamos do atributo localização geográfica, que é expressa em coordenadas geodésicas (por exemplo latitude e longitude) e indica a posição geográfica. O sistema de referência baseia-se em um sistema de coordenadas ou datum. A descrição da posição de pontos da Terra ou do espaço é feita usualmente pela atribuição de coordenadas, em relação a cada referencial considerado, um mesmo ponto pode ser localizado através de diferentes tipos ou sistemas de coordenadas. Os datum são superfícies de referência geodésica que representam a base dos levantamentos horizontais e verticais, das quais são conhecidos os parâmetros necessários à determinação altimétrica e planimétrica de vértices destinados a levantamentos cartográficos e projetos de engenharia. No Brasil, por exemplo, são adotados atualmente os seguintes datum: Datum vertical como Imbituba – Santa Catarina e Datum horizontal como SAD-69 ou Chuá – Minas Gerais

O quarto importante relacionamento da classe REC_HIDRICO é com a classe REP_GRAFICA. Esta associação unidirecional ou relacionamento indica que todo recurso

hídrico tem uma representação gráfica. Finalizando o nível 0, temos as classes PONTO, LINHA e POLIGONO, especializadas a partir da classe REP_GRAFICA. Segundo definições formais, as classes PONTO, LINHA e POLIGONO são classes básicas para a representação espacial de objetos geográficos como estruturas vetoriais [37,38,39,40].

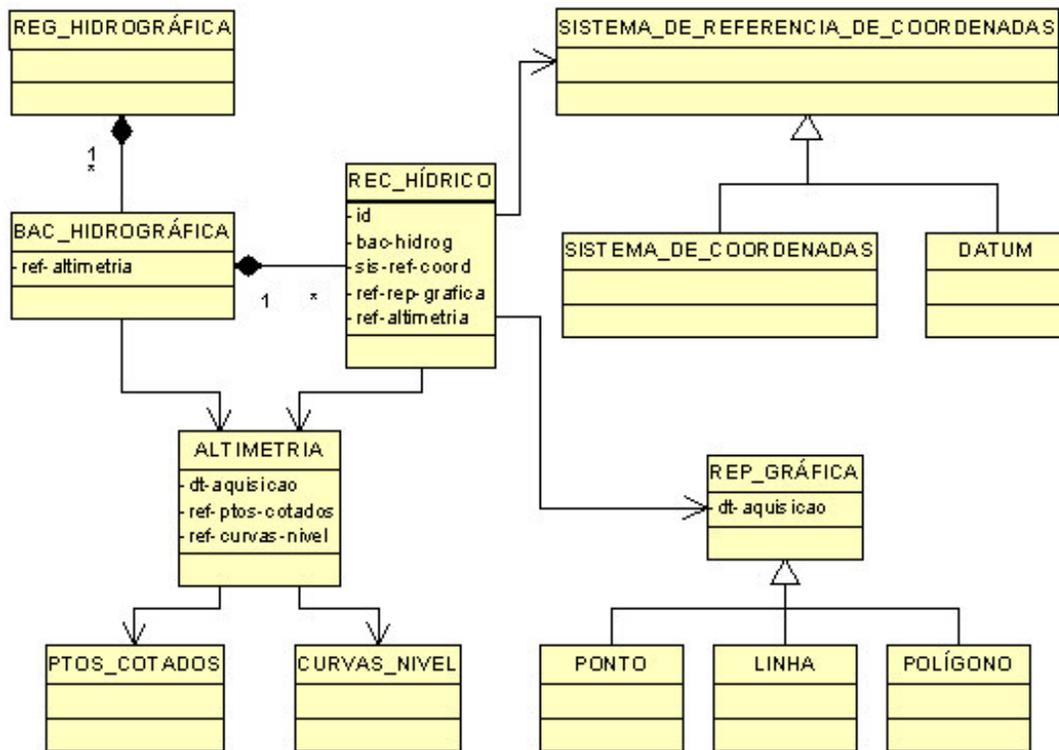


Figura 15 – Classes Primitivas.

4.5.2 NÍVEL 1

Na figura 16 destacam-se, além da classe primitiva REC_HÍDRICO, as classes de nível 1, responsáveis pelo primeiro nível de distinção dos componentes de uma rede hídrica. O primeiro nível de generalização dos recursos hídricos é composto por quatro grandes áreas, denominadas de Hidrografia Natural, Reserva Hídrica, Transferência Hídrica, e Singularidade. Representado pelas respectivas classes HID_NATURAL, RES_HIDRICA, TRF_HIDRICA e SINGULARIDADE, apresentam estruturas ou funcionalidades distintas, conforme veremos no detalhamento do nível 2. Uma boa política de gerenciamento de recursos hídricos deve levar em conta, o controle e a supervisão dessas áreas, e interligação entre elas.

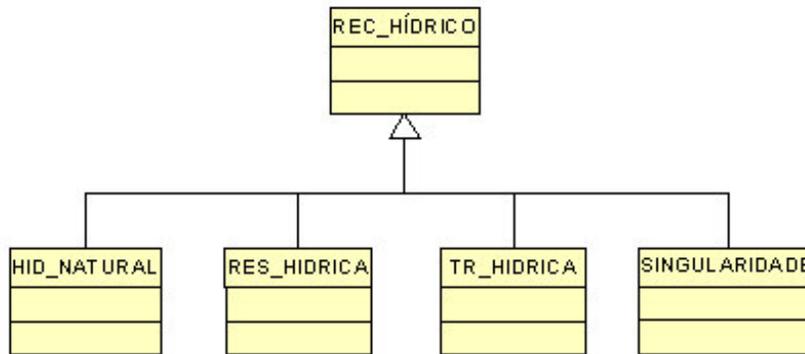


Figura 16 – Classe Recursos Hídricos.

4.5.3 NÍVEIS 2 E 3

Nos níveis 2 e 3 da hierarquia de classes, estão representados objetos indispensáveis para o funcionamento e avaliação do sistema hídrico. A primeira das quatro áreas especializadas no nível 2, é a classe denominada `HID_NATURAL` (Hidrografia Natural). Entende-se hidrografia natural como a rede fluvial e os corpos hídricos, cuja origem é natural, ou seja, sem a participação direta do homem. A classe `LAGO_NATURAL` e a classe `RIO` completam o nível 2 dessa generalização, e a classe `TRECHO_RIO` com um relacionamento de composição com a classe `RIO`, representa o nível 3 nesse ramo da hierarquia (Ver figura 17).

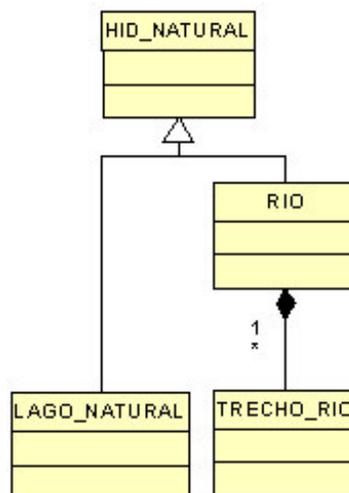


Figura 17 – Classe Hidrografia Natural.

A figura 18 destaca o nível 2 na hierarquia de classes, para representação da segunda grande área, denominada RES_HÍDRICA (Reserva Hídrica). Esta classe apresenta as obras hídricas ou reservas hídricas, construídas pelo homem, com a intenção de acumular água para as mais diversas finalidades, tais como: abastecimento humano, irrigação, indústria, piscicultura, turismo, lazer, geração de energia, etc. As reservas hídricas apresentam-se como obras pontuais, e da sua especialização surgem as subclasses chamadas de POÇO e RESERVATÓRIO. Os reservatórios, por vezes chamados também de açudes, podem adquirir proporções gigantescas, com formatos variando segundo o relevo da região, e se originam, na sua maioria, do barramento de rios.

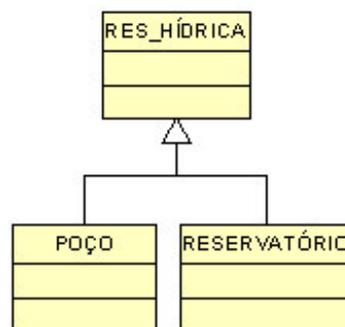


Figura 18 – Classe Reserva Hídrica.

A terceira grande área, representada pela classe TRF_HÍDRICA (Transferência Hídrica), apresenta também estruturas surgidas a partir da ação do homem, porém com o objetivo principal de transferir água. Nos níveis 2 e 3 dessa especialização, apresentadas na figura 19, estão representadas a classe CANAL, composta da classe TRECHO_CANAL, e a classe ADUTORA, composta da classe TRECHO_ADUTORA. A principal distinção entre as classes CANAL e ADUTORA, surge do fato que o transporte da água, na sua quase totalidade, é realizado através de canais abertos, no primeiro caso, e através de dutos fechados no segundo.

Estendendo-se, às vezes, por vários quilômetros, estas obras compõem uma vasta rede hídrica de canais e adutoras, e são responsáveis dentre outras coisas, pela interligação de bacias hidrográficas, garantindo o fornecimento de água aos grandes centros urbanos.

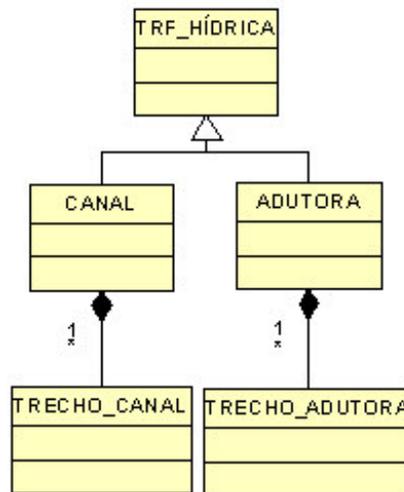
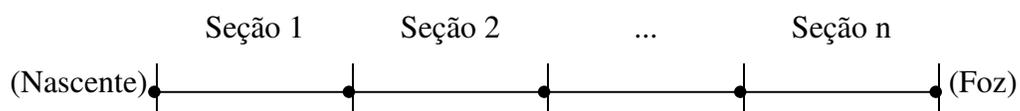


Figura 19 – Classe Transferência Hídrica.

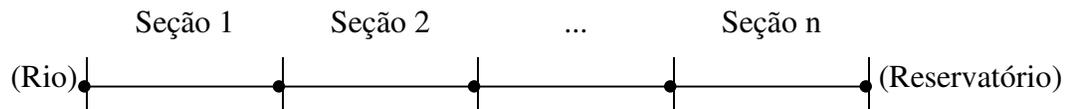
Apresentada na figura 20, a quarta e última grande área foi chamada de SINGULARIDADE. O conceito de singularidade é aplicado em várias ciências, para transmitir a idéia de algo diferente, distinto ou notável. Na matemática, por exemplo, o termo singularidade representa um ponto que não pode ser descrito por uma função contínua. No nosso caso, a singularidade determina pontos marcantes na representação dos recursos hídricos, ora como ponto de ligação de um determinado trecho a outro, ora como ponto representativo de uma obra de contenção, lançamento ou retirada de água.

A classe SINGULARIDADE relaciona-se com todas as subclasses especializadas a partir das classes HID_NATURAL, RES_HIDRICA e TRF_HIDRICA. Ao concentrar estes relacionamentos, a classe Singularidade exerce o papel de ligação entre essas três grandes áreas, complementa a representação dos recursos hídricos através de suas especializações e enriquece a semântica do modelo.

As singularidades podem se apresentar como verdadeiros marcos, e atuam como elementos divisores de redes hídricas, ora em rios, ora em canais ou adutoras. Em termos práticos, podemos definir um rio como um conjunto de seções, delimitadas por singularidades, como no exemplo abaixo:



O mesmo pode ser aplicado a um canal ou adutora, que liga um rio a um reservatório, por exemplo:



Nas estruturas como poços, lagos ou reservatórios, a singularidade complementa suas representações através da representação de outros objetos ligados diretamente a estas estruturas, como obras de captação de água, obras de lançamento ou postos de monitoramento. Nas estruturas em forma de grafo, como rios, canais e adutoras, a singularidade exerce ainda um papel direcionador. A orientação de cada trecho analisado está representada segundo o valor do atributo posição, que indica a localização relativa da singularidade. Como atributo direcionador o atributo posição pode assumir, por exemplo, os seguintes valores: 1-início de trecho, 2-intermediário e 3-fim de trecho.

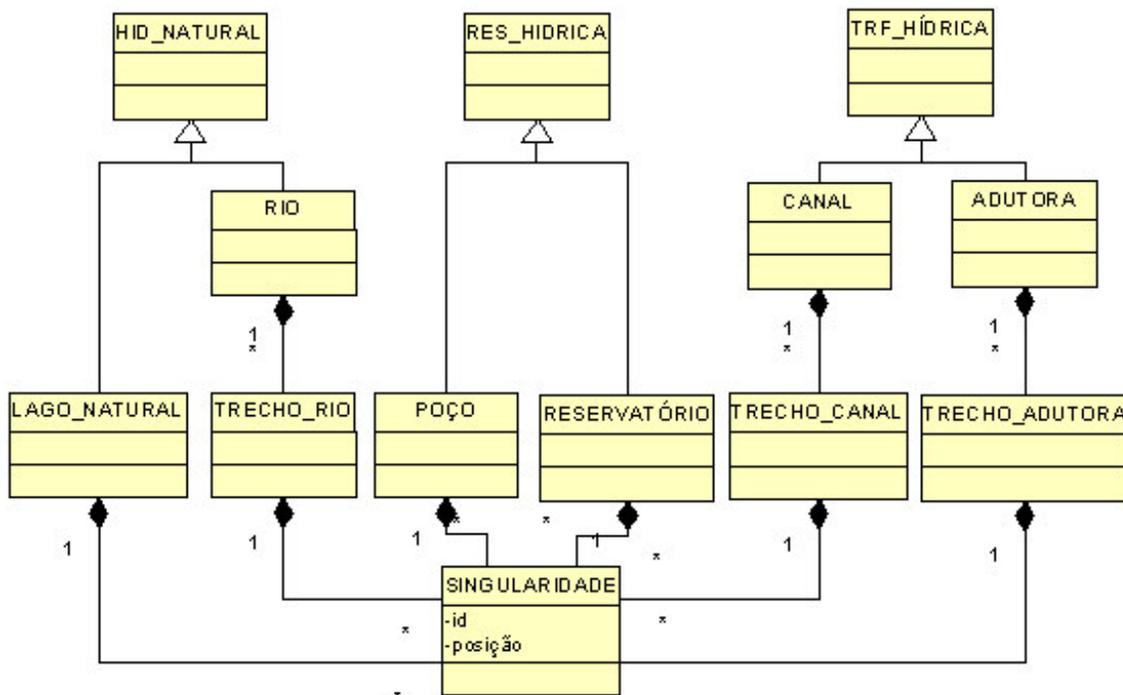


Figura 20 – Classe Singularidade.

No nível 2, as subclasses criadas a partir da especialização da classe SINGULARIDADE (ver figura 21), foram denominadas de: OBRA_DERIVAÇÃO (Obra de Derivação), OBRA_LANÇAMENTO (Obra de Lançamento), PONTO_INFLEXÃO (Ponto

de Inflexão), BARRAGEM, FOZ, NASCENTE, CONFLUÊNCIA, USINA_HIDRELETRICA e POSTO_MONITORAMENTO (Posto de Monitoramento). Conceitualmente, uma obra de derivação e uma obra de lançamento podem, respectivamente, tirar e lançar água de um lago, poço, rio, canal, adutora ou reservatório, interligando uma bacia hídrica. Os pontos de inflexão apontam geralmente para grandes diferenças de nível (por exemplo, quedas d'água) ou alterações bruscas no relevo ou estrutura (como por exemplo, estreitamentos ou alargamentos em rios ou canais). A barragem pelo seu tipo de construção e pela sua finalidade, merece atenção especial mesmo antes da criação. Dependendo de suas dimensões, além do estudo geomorfológico e da viabilidade econômica, é exigido um estudo do impacto ambiental causado pela sua construção. Como as barragens são construídas, na sua maioria, ao longo do leito de rios, o represamento parcial das águas, causa impactos diretos nas comunidades ribeirinhas localizadas rio abaixo. A foz, nascente, confluência, são acidentes geográficos naturais, que identificam e delimitam uma rede fluvial. A confluência delimita pontos de aporte de água que chega através dos afluentes, e os braços ou ramificações que retiram água, chamados efluentes. A usina hidrelétrica (classe USINA_HIDRELETRICA) possui características semelhantes à barragem, mas incorpora um importante elemento, denominado usina geradora de energia, que a diferencia de uma barragem. Apesar dos custos de construção, estas obras ainda apresentam-se como os meios mais econômicos, para geração de grandes volumes de energia, sem prejuízos maiores ao meio ambiente. Por fim, os postos de monitoramento (classe POSTO_MONITORAMENTO) que melhoram o entendimento, auxiliam na supervisão, facilitam a simulação de cenários e contribuem na conservação dos próprios ecossistemas dos quais os dados são extraídos.

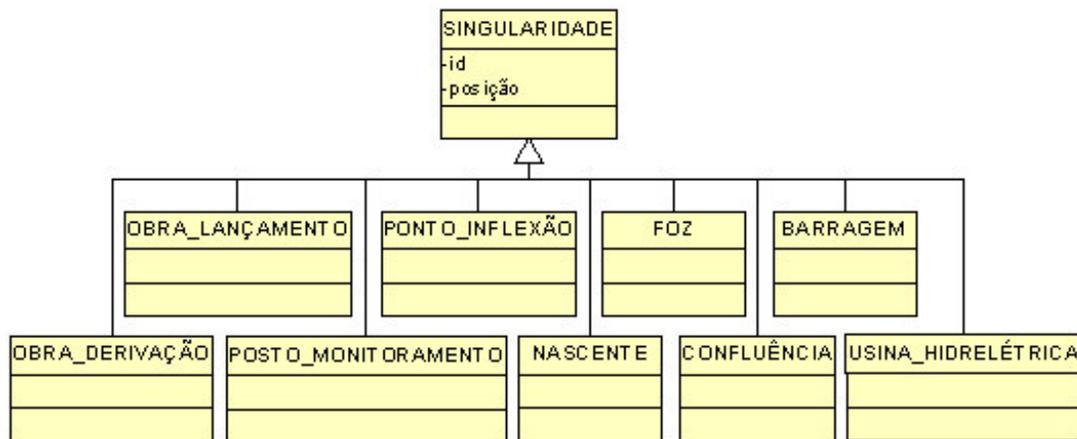


Figura 21 – Especialização da Classe Singularidade.

Uma característica comum entre as classes especializadas a partir da classe SINGULARIDADE, está no fato de representarem objetos fisicamente localizados à margem, ou literalmente dentro de um rio, canal, adutora, poço, lago natural ou reservatório (especializações das classes HID_NATURAL, RES_HIDRICA e TRF_HIDRICA). A única exceção está no posto de monitoramento (classe POSTO_MONITORAMENTO), cuja localização é determinada pelos tipos de sensores ou de dados que se pretende coletar. Embora às vezes distantes de corpos hídricos, os postos de monitoramento ajudam no entendimento e supervisão de uma determinada região hidrográfica.

4.5.4 OUTROS NÍVEIS DA HIERARQUIA DE CLASSES

Concluindo o detalhamento do modelo proposto, apresentamos outras classes, que integradas às classes já descritas, complementam a representação do sistema de informações de recursos hídricos. Nos demais níveis do modelo estão representadas áreas importantes, que detalham o manejo da água, os seus beneficiários, e o monitoramento da quantidade e qualidade da água..

A primeira área destacada é a de *demanda da água*. Visto como um bem escasso nos dias de hoje, a água é tratada nesta parte do modelo, sob a ótica da lei, com o objetivo de atender os interesses da coletividade. Como demonstra a figura 22, a captação da água é feita por uma obra de derivação. Com a obra de derivação e um contrato de outorga, é repassado o direito de uso de um determinado limite de volume de água, a um ou mais usuários, para um determinado fim. Os usuários do sistema são agrupados por ramo de atividade, dentre os quais destacam-se: irrigante, indústria, concessionárias, geração de energia, piscicultura e lazer-turismo. Além de conservar o equilíbrio entre a demanda e oferta, todo o controle é necessário a fim de manter a qualidade e a continuidade no abastecimento de água. Dentre as inúmeras atividades desenvolvidas a partir de uma outorga para direito de uso da água, destacamos no modelo ACQUA, o processo de irrigação. A atividade de irrigação, que envolve principalmente as classes IRRIGANTE, PROPRIEDADE, PROPRIETÁRIO, PARCELA, CULTURA E KCULTURA (coeficiente de cultura), agrega importantes tarefas, tais como a exportação de produtos agrícolas, o abastecimento do mercado interno, e em determinadas regiões como o semi-árido nordestino, o sustento, a sobrevivência e a manutenção do homem

no campo. Em destaque também o papel da concessionária de água (representada pela classe CONCESSIONÁRIA) que é responsável por explorar e manter o serviço de água para o abastecimento urbano. É comum vermos também sob a responsabilidade destas concessionárias o serviço de esgotamento sanitário das cidades. Neste caso a captação dos resíduos seria através de uma obra de lançamento, e seguiria ao seu destino final através da rede de esgotos.

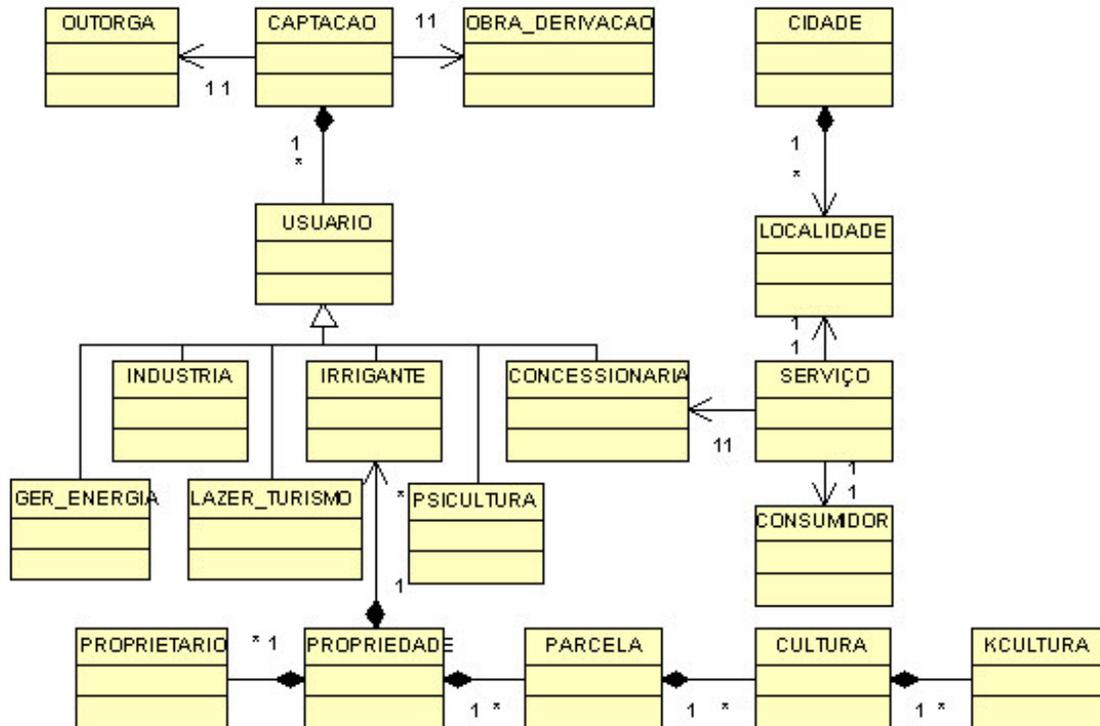


Figura 22 – Representação da área de demanda de água.

A representação dos objetos envolvidos em parte do controle, entre a demanda e a oferta de água, é feita através das classes que representam a área de *monitoramento*. Destacam-se nesta segunda área, a coleta de dados contínua e a representação das informações históricas (séries históricas). Os pontos de monitoramento responsáveis pela coleta dos dados no sistema hídrico estão representados pela classe POSTO_MONITORAMENTO (ver figura 23). De acordo com o tipo de sensor ou finalidade de uso, os postos podem ser identificados como postos de monitoramento de adutora, canal, reservatório, poço, lago, fluviométrico, climatológico ou pluviométrico. A preservação da memória do sistema é garantida, em parte, através do registro das séries históricas (classe SERIE_HISTORICA), ligadas a cada posto de

monitoramento, e com as quais é possível fazer previsões ou estabelecer cenários, de modo a antever quadro de colapso, sobrecarga ou alterações bruscas no comportamento do sistema.

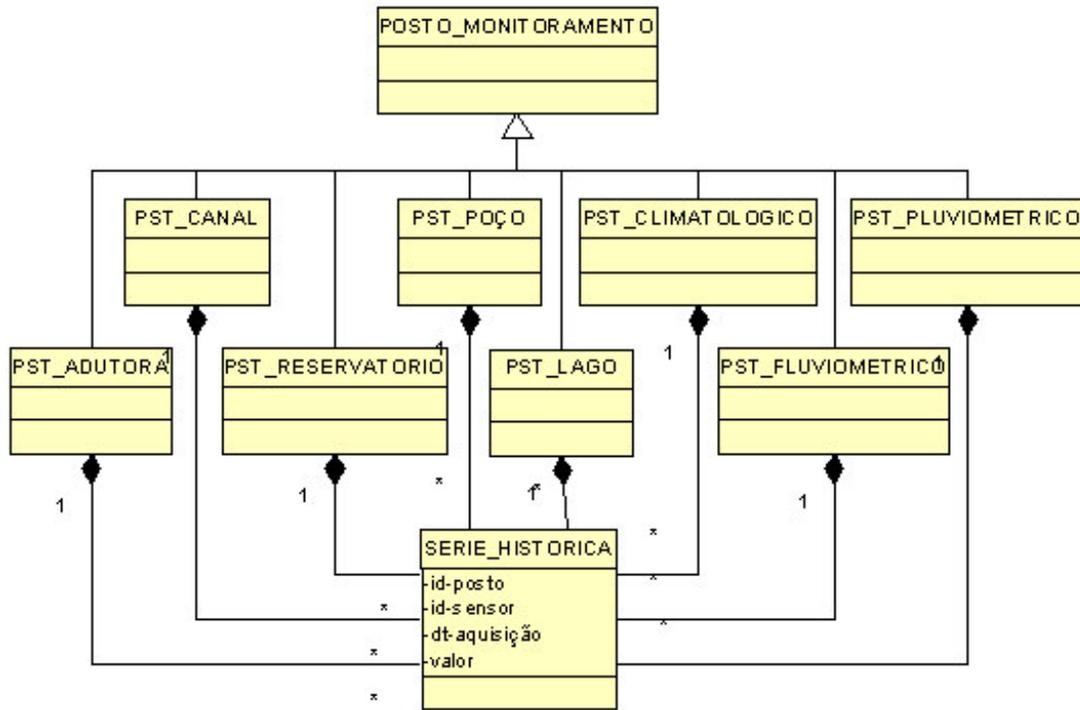


Figura 23 – Representação da área de monitoramento.

A terceira e última área modelada (ver figura 24), representa ações voltadas para a *qualidade da água*. Através das campanhas periódicas são feitas análises para verificação da qualidade da água nos diversos corpos hídricos. Os parâmetros e os tipos de análise variam de acordo com o tipo de campanha realizada, e estão ligados a postos de monitoramento específicos, visando manter um histórico comparativo das diversas análises. Parâmetros físico-químicos e bioquímicos são avaliados durante as campanhas.

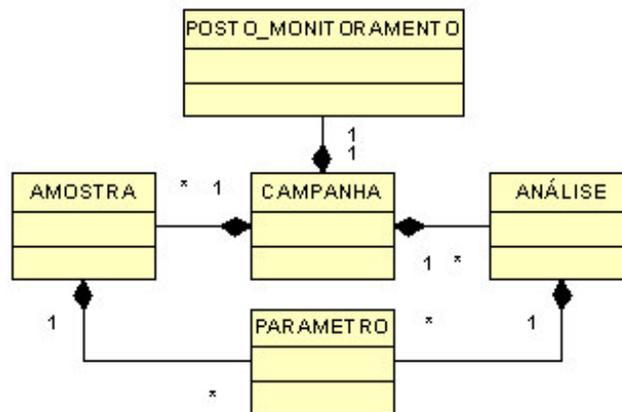


Figura 24 – Representação da área de qualidade da água.

O modelo conceitual de dados proposto pode ser estendido a fim de atender a novas demandas, além dos requisitos básicos já pré-estabelecidos. Podemos citar, por exemplo, um estudo detalhado para cada grupo de usuários (indústria, lazer, psicultura, etc), com a finalidade de determinar o quanto cada sub-atividade consome ou necessita de água. Outro estudo mais profundo pode ser feito, no sentido de estender o modelo para representação dos recursos hídricos encontrados abaixo da superfície, tais como lençóis freáticos, aquíferos, rios subterrâneos, etc. Estudos como estes, enriqueceriam o modelo e ampliariam a representação do mini-mundo recursos hídricos.

4.6 DISCUSSÃO

É comum encontrarmos modelos conceituais, implementados e aplicados a softwares comerciais de geoprocessamento (ArcView, SPRING, etc.), para atender a representação espacial de objetos de uma forma geral. Os modelos conceituais voltados para áreas específicas, e em especial a área de recursos hídricos, apresentam também grandes generalizações, simplificando o modelo, embora escondendo componentes importantes para o gerenciamento de um sistema de recursos hídricos voltados para o ambiente de sistemas de informações geográficas – SIGs. Na ausência de modelos conceituais mais detalhados, o trabalho maior de interpretação é transferido para as implementações, podendo assim, gerar ambientes bastante distintos e uma despadronização de conceitos, indesejáveis para qualquer área. Se existe, por exemplo, uma falta de padronização de informações entre empresas de uma mesma área, é comum verificar-se um aumento nos custos de levantamento, armazenamento, transmissão e conversão dessas informações. Em resumo, quanto maior o detalhamento de um modelo, maior a representação e melhor o entendimento do funcionamento de um sistema.

O modelo ACQUA foi proposto para preencher parte da lacuna deixada pelos outros modelos conceituais, e tem a pretensão de estabelecer padrões iniciais de análise, de topologia e de conceitos, ligados ao conhecimento e à representação espacial dos recursos hídricos de superfície de uma região hidrográfica. De forma clara e direta, o modelo ACQUA incorpora conceitos utilizados no dia a dia pelos profissionais que lidam com a administração e uso da

água, e conceitos ligados aos sistemas de informações geográficas, tais como topologia e geo-referenciamento dos objetos modelados.

O conceito singularidade, além de enriquecer semanticamente o modelo, e delimitar estruturas em rede, através das singularidades de início e fim de trechos (ligadas a rios, canais e adutoras), possibilita uma análise orientada de toda a estrutura de um rio, por exemplo, da nascente até a sua foz, como em um grafo orientado.

O registro das séries históricas, associado ao conceito de postos de monitoramento (uma das singularidades), favorece o controle de toda a bacia hidrográfica. Juntamente com as classes representativas do conceito de demanda, esses registros fornecem subsídios para o gerenciamento dos recursos hídricos, elaboração de políticas públicas, avaliação de implantação de novas obras (reservatórios, canais, etc.), novos centros de demanda (pólos industriais, pólos agrícolas, etc.) e simulação de cenários.

Embora não seja o objetivo do modelo representar o uso da água pelo usuário final, o modelo ACQUA estabelece alguns conceitos iniciais, através da discriminação de tipos de usuário. Um deles representando o abastecimento urbano, conceito estabelecido através da relação consumidor e concessionária. O outro um detalhamento do uso da água pelo usuário final denominado irrigante. A intenção ao se representar o processo de irrigação, deve-se à importância deste processo como um dos principais instrumentos de preservação da terra, de manutenção do homem no campo e de fator de desenvolvimento, especialmente nas chamadas regiões áridas e semi-áridas do planeta.

O modelo ACQUA está aberto à representação de novos conceitos ou extensões, e apresenta como desafios futuros, a representação das águas subterrâneas e a integração com o modelo de águas superficiais já proposto, completando o ciclo da água.

5 ACQUA VIEW

5.1 INTRODUÇÃO

Apresentaremos neste capítulo o aplicativo ACQUA VIEW desenvolvido ao longo desta dissertação. Com o objetivo principal de demonstrar a aplicabilidade dos conceitos propostos no modelo conceitual ACQUA, o ACQUA VIEW pode ser definido como um sistema de informações geográficas, voltado para o gerenciamento de recursos hídricos.

Este capítulo está organizado como descrito a seguir. A seção 5.2 apresenta as funcionalidades do aplicativo, descrevendo todas as pastas e detalhes das ferramentas existentes. A seção 5.3 finaliza o capítulo com detalhes técnicos sobre a linguagem utilizada, a construção do aplicativo, o ambiente operacional e o banco de dados sobre o qual o modelo foi implementado.

5.2 O APLICATIVO

Adotando como base um SGBD e uma linguagem comercial de larga utilização, o ACQUA VIEW apresenta-se como uma importante ferramenta que possui, entre outras coisas, uma interface de acesso, visualização e consulta dos dados geo-referenciados armazenados no banco de dados, de modo a facilitar a análise e o gerenciamento de recursos hídricos.

O mercado oferece várias ferramentas para entrada, edição, manipulação e análise de dados geo-referenciados, como, por exemplo, o ARCVIEW e o SPRING. Entretanto, na sua maioria, estas ferramentas ou aplicativos, exigem dos usuários uma formação especializada e

um conhecimento específico, tanto de geoprocessamento, no uso de técnicas de entrada e edição de dados, como de informática aplicada, para fazer uso de linguagens, por vezes proprietárias, para análise e saída dos dados, como, por exemplo, a linguagem AVENUE do ARCVIEW.

O ACQUA VIEW é uma ferramenta para exploração e análise de dados geo-referenciados, que oferece a alternativa de uma consulta simples e direta para os usuários pouco experientes, e aos usuários mais experientes, a possibilidade de explorar no módulo de consultas "ad hoc" e através de consultas SQL, outros recursos oferecidos pelo banco de dados.

A figura 25 apresenta a pasta inicial do aplicativo, contendo os requisitos mínimos de hardware e software, o botão de acesso ao módulo de configuração de cores das legendas e o logotipo do aplicativo. Durante a execução do aplicativo é possível mudar, por exemplo, a cor dos objetos selecionados, a cor dos objetos selecionáveis e a cor de contorno das regiões apresentadas no mapa, através do módulo de configuração de cores das legendas (ver figura 26).

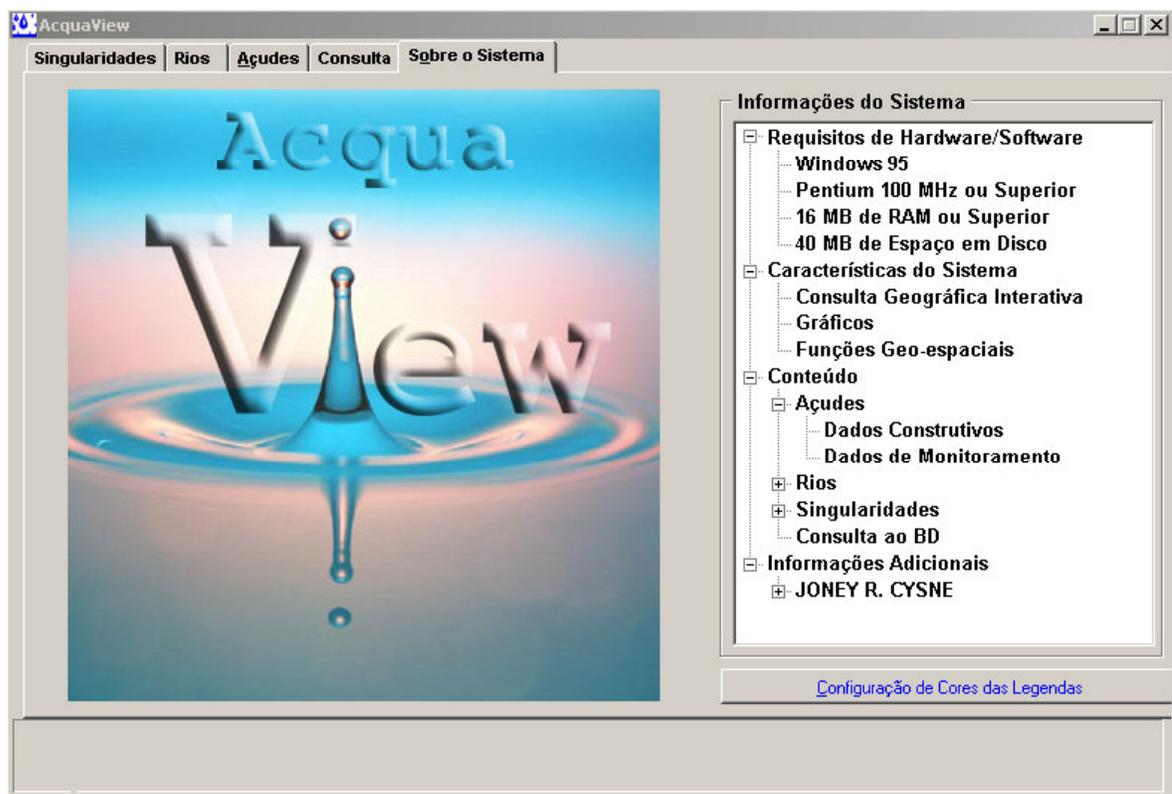


Figura 25 – Pasta de apresentação do sistema.

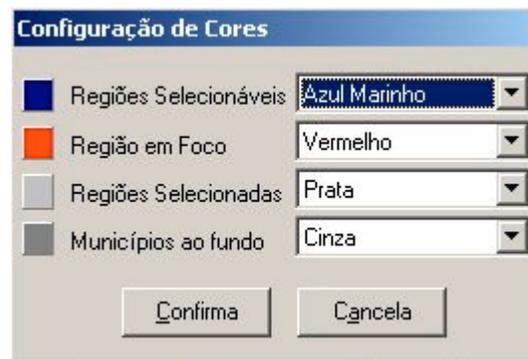


Figura 26 – Módulo de configuração de cores das legendas.

Na figura 27 vemos a pasta de consulta “ad hoc” e algumas ferramentas de auxílio, para a elaboração de consultas através da linguagem SQL. O canto superior esquerdo é reservado para a área de escrita dos comandos SQL, enquanto que a parte inferior da tela, é a área de apresentação do resultado do comando SQL montado na área anterior. Ao centro, encontra-se uma lista completa de todas as tabelas, com os respectivos campos e tipos de dado, armazenados no banco de dados e disponíveis para o usuário. Um duplo clique com o botão esquerdo do mouse sobre uma linha da lista de campos, transfere a descrição deste campo para a área de escrita. A montagem dos comandos é facilitada ainda pela apresentação dos comandos básicos de SQL, que ao serem selecionados através de botões, são transferidos diretamente para a área de escrita. Na área lateral direita da pasta de consultas, estão relacionadas algumas consultas previamente elaboradas, que podem ser transferidas diretamente para a área de escrita, através da seleção pelo botão correspondente.

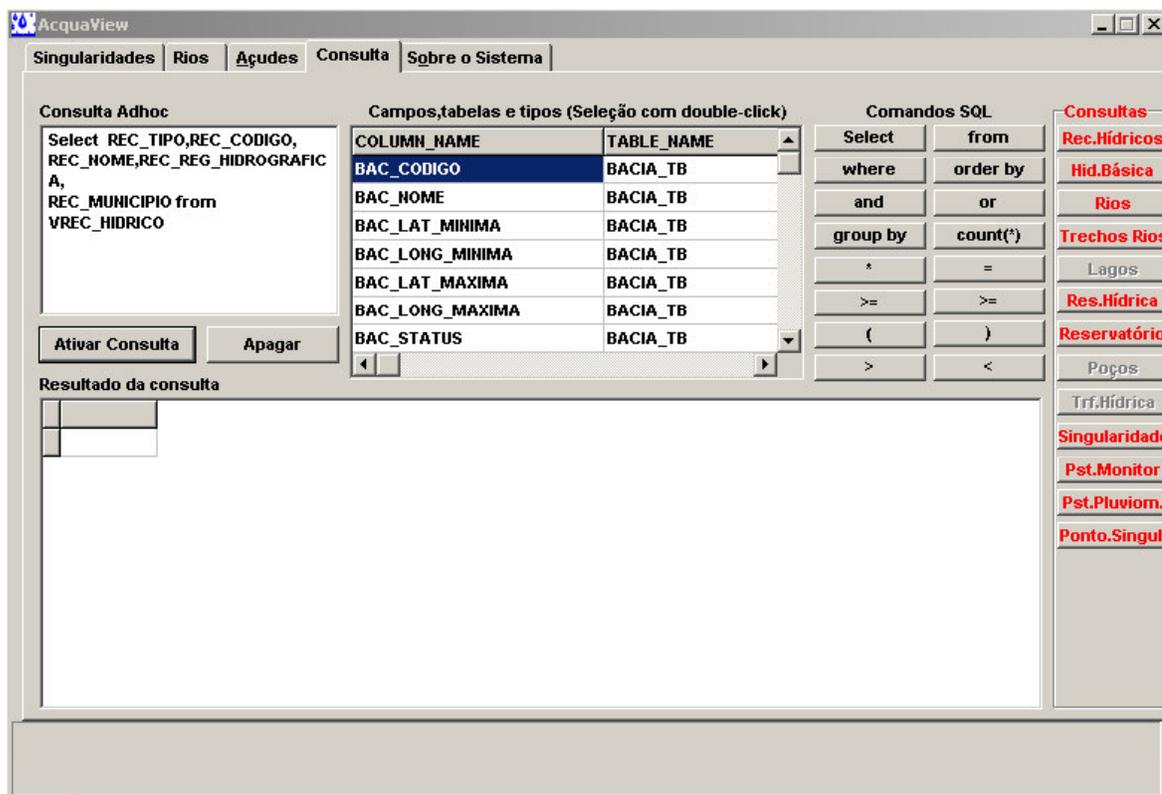


Figura 27 – Pasta de consulta.

As demais pastas do aplicativo apresentam estruturas semelhantes, e dão suporte à análise de todos os corpos hídricos mapeados de uma determinada área territorial. Detalharemos as funcionalidades comuns às pastas, depois apresentaremos as pastas por inteiro. Nosso estudo piloto envolve parte dos recursos hídricos do Estado do Ceará, devidamente identificados, geo-referenciados e selecionados segundo a bacia hidrográfica a que pertencem. Como demonstrado na figura 28, o mapa do Ceará ocupa a maior parte das pastas para uma melhor visualização dos detalhes, e aparece dividido internamente em bacias hidrográficas (linhas azuis) e municípios (linhas cinzas) para facilitar a localização dos objetos.

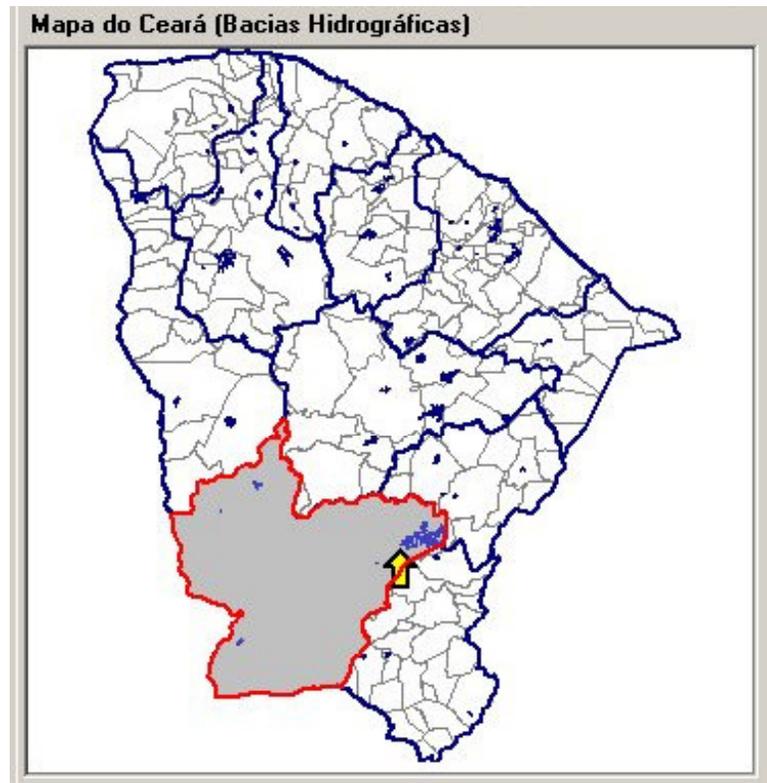


Figura 28 – Mapa interativo geo-referenciado.

De forma instantânea, é possível identificar a localização aproximada de qualquer ponto focado no mapa (sua latitude e longitude), além do nome da bacia hidrográfica, do município e do objeto em foco, como exemplificado na figura 29.

Em Foco	
Latitude	Longitude
-6' 13" 24'''	-39' 6" 0'''
Bacia Hidrográfica	
ALTO JAGUARIBE	
Açude	
OROS	
Município	
QUIXELO	

Figura 29 – Localização do objeto em foco.

A seleção de um recurso hídrico, dentro da bacia hidrográfica, se dá através de uma lista seqüencial nominal posicionada ao lado do mapa (ver figura 30), ou diretamente no mapa, clicando sobre o objeto que se deseja selecionar. Após a seleção, o objeto é facilmente localizado através de uma seta apontadora, como por exemplo, no detalhe da figura 31.



Figura 30 – Seleção do objeto de uma bacia hidrográfica através da lista.



Figura 31 – Seleção do objeto de uma bacia hidrográfica diretamente no mapa.

Com a seleção é possível observarmos todos os atributos cadastrados para um respectivo recurso (ver figura 32), e uma imagem ampliada do espelho d'água deste recurso, em um mapa isolado (ver figura 33). A seleção do objeto permite o acesso ao módulo de gráficos (na pasta de açudes), além dos pontos de singularidades ligados diretamente ao recurso selecionado (na pasta de rios e na pasta de açudes). O desenvolvimento de relatórios para acesso aos registros históricos ou dados cadastrais, por exemplo, pode também ser agregado à seleção de objetos.



Figura 32 – Atributos do objeto selecionado.

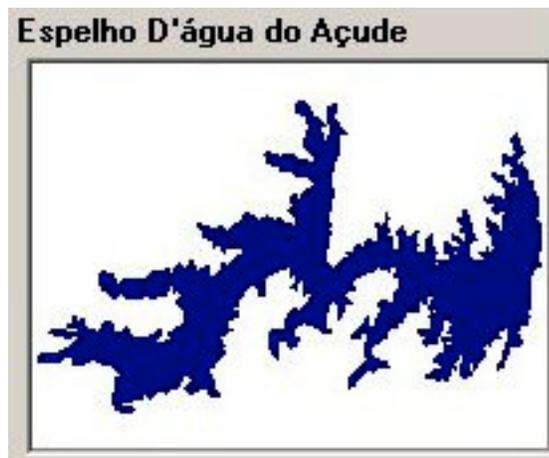


Figura 33 – Espelho d'água do objeto selecionado.

Os pontos de singularidades ligados ao recurso selecionado, seja ele um rio ou um açude do nosso projeto exemplo, aparecem listados como demonstrado na figura 34. Além do código da singularidade, um atributo de posição, determinando a localização da singularidade (início, fim e intermediária), auxilia a navegação em trechos de rede. Um duplo clique com o botão esquerdo do mouse sobre um dos pontos de singularidade do objeto selecionado, transfere o foco da aplicação para a pasta de singularidades, apontando no mapa para a singularidade escolhida, juntamente com os vários atributos a ela associados.

Pontos de Singularidade:		
Tipo	Código	Posição
50	125	Inicial

Figura 34 – Pontos de singularidades do objeto selecionado.

Apresentamos na figura 35, um exemplo do módulo de pesquisa com resultado gráfico para a pasta de açude. Este módulo permite a elaboração de dois tipos de consultas, uma sobre o volume e outra sobre a área, relacionadas a um determinado período de tempo. A figura 36 demonstra o resultado, em forma de gráfico, de uma pesquisa nos dados históricos do açude selecionado.



Gráficos de açudes

Variação

Do Volume (milhões de m3)

Da Área do Espelho d'Água (Km2)

Período Inicial: Mês **Janeiro** Ano **1997**

Período Final: Mês **Abril** Ano **1997**

Período válido p/ os gráficos: Janeiro de 1992 a Outubro de 1997

Figura 35 – Módulo gráfico de pesquisa de açudes.

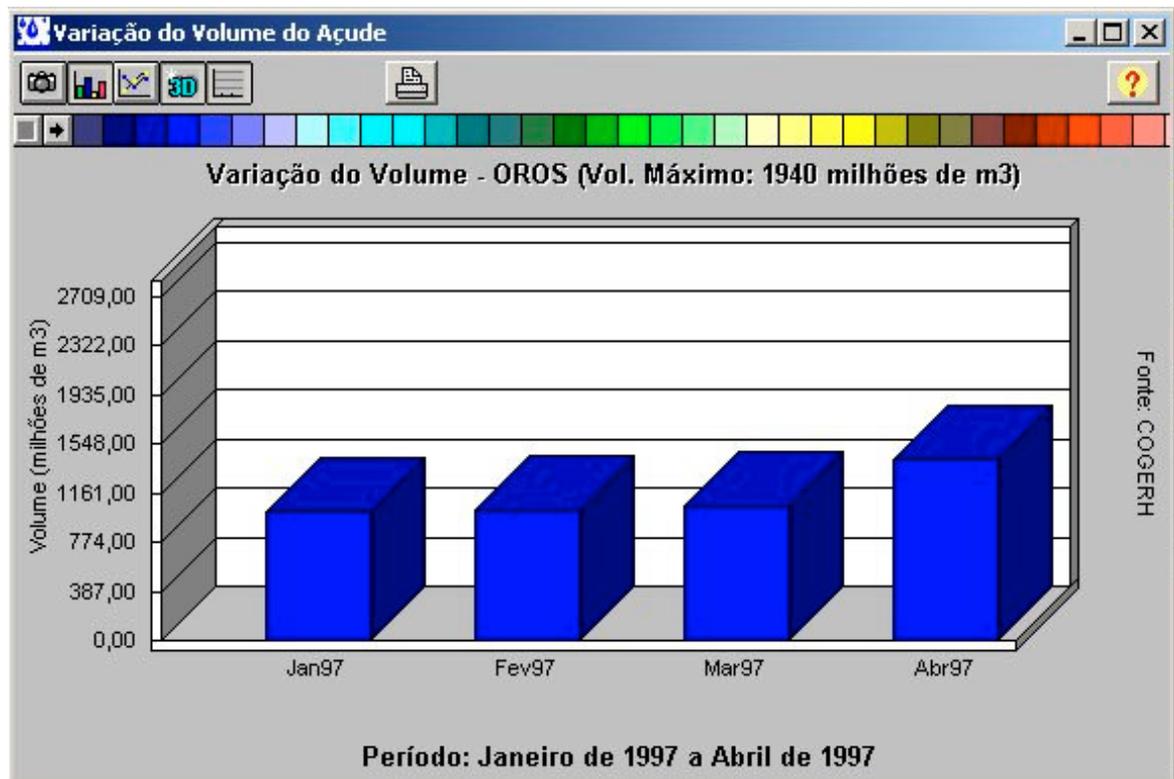


Figura 36 – Pesquisa de dados históricos sobre o açude selecionado.

Na parte inferior das pastas, encontramos uma barra com ferramentas úteis na análise dos objetos apresentados sobre o mapa. Essas ferramentas podem ser ativadas ou desativadas através dos respectivos botões, sinalizados pela luz verde, para ferramenta ativa, e luz vermelha para ferramenta inativa. O primeiro dos botões aciona a função “Zoom”, que pode aumentar o mapa em até 40 vezes, facilitando a visualização de objetos (ver figura 37).



Figura 37 – Ferramenta de zoom.

O segundo botão aciona a função “Extensão”, que permite o cálculo aproximado da distância em metros, entre dois objetos no mapa (ver figuras 38 e 39).



Figura 38 – Ferramenta de extensão.

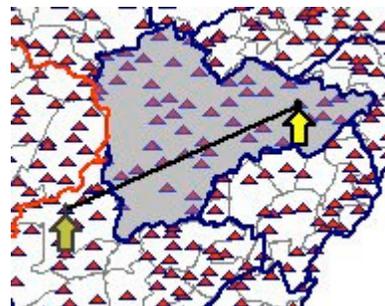


Figura 39 – Linha base de extensão entre os dois pontos.

O terceiro botão ativa a função “Raio”, que permite com a informação de um raio pré-determinado em metros, desenhar a partir de qualquer ponto do mapa, um círculo com este raio, facilitando a localização de objetos dentro do perímetro indicado pelo raio (ver figura 40 e 41). Com a execução da função raio, o aplicativo apresenta uma lista dos objetos que se encontram dentro do perímetro determinado pelo raio (ver figura 42). Para otimizar o espaço disponível na pasta, esta área é ocultada sempre que o botão da função raio é desativado.



Figura 40 – Ferramenta de raio.

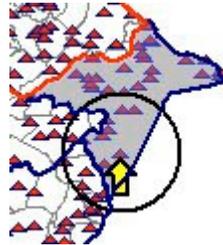


Figura 41 – Círculo base com raio determinado.

**Postos Pluviométricos
dentros do raio**

Tipo	Código	Nome
50	92	MOMBACA
50	113	PEDRA BRA
50	117	PIQUET CAI
50	238	ACUDE TRA
50	342	MINEIROLA
50	345	IBICUA

Figura 42 – Lista de objetos dentro do raio pré-determinado.

O último botão, denominado “Limpar”, remove do mapa as operações de extensão e de raio realizadas, e restaura o mapa original (ver figura 43).



Figura 43 – Botão Limpar.

Nosso estudo piloto apresenta três corpos hídricos, separados em pastas distintas e identificados respectivamente, como açude, rio e posto pluviométrico (um dos tipos de singularidade) (Ver figuras 44, 45 e 46). Escolhidos intencionalmente com objetivo de demonstrar estruturas de rede, estruturas de representação poligonal e pontual, e a interligação

de todos eles dentro da rede hídrica, buscou-se representar a topologia complexa de uma bacia hidrográfica, demonstrando a aplicabilidade, a clareza e o detalhamento do modelo ACQUA proposto.

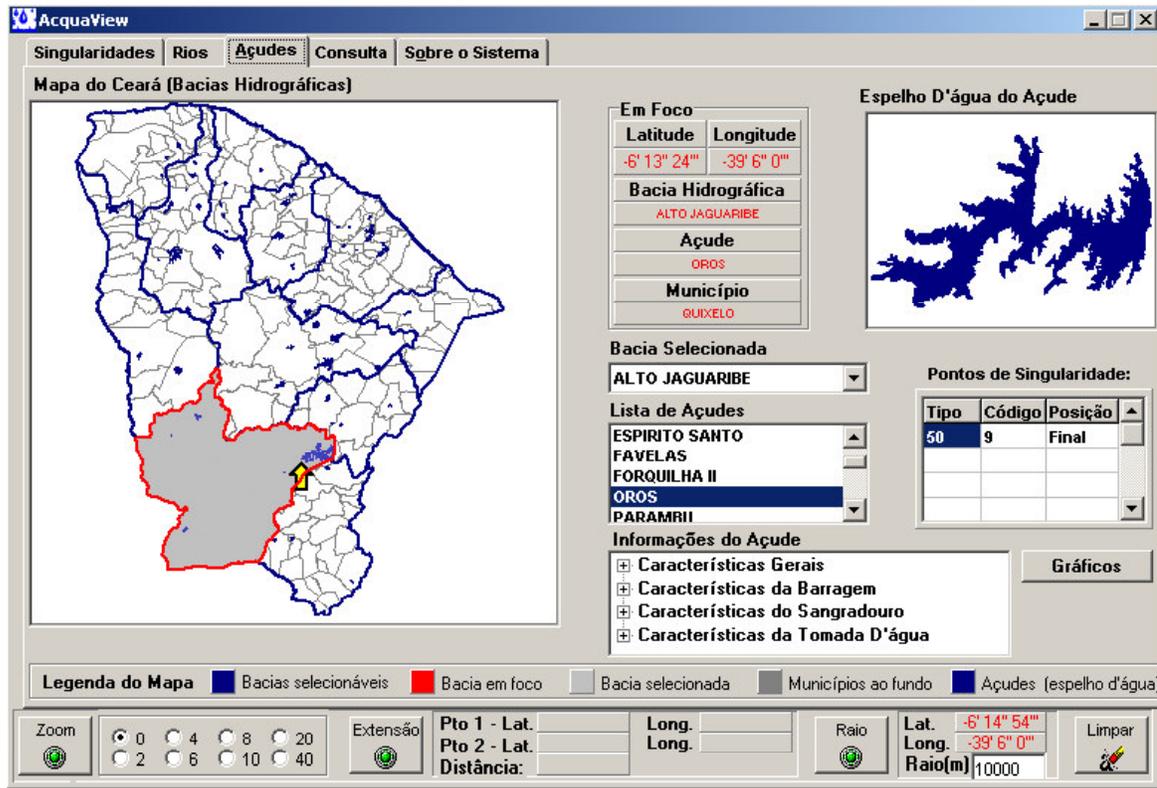


Figura 44 – Pasta de análise de açudes.

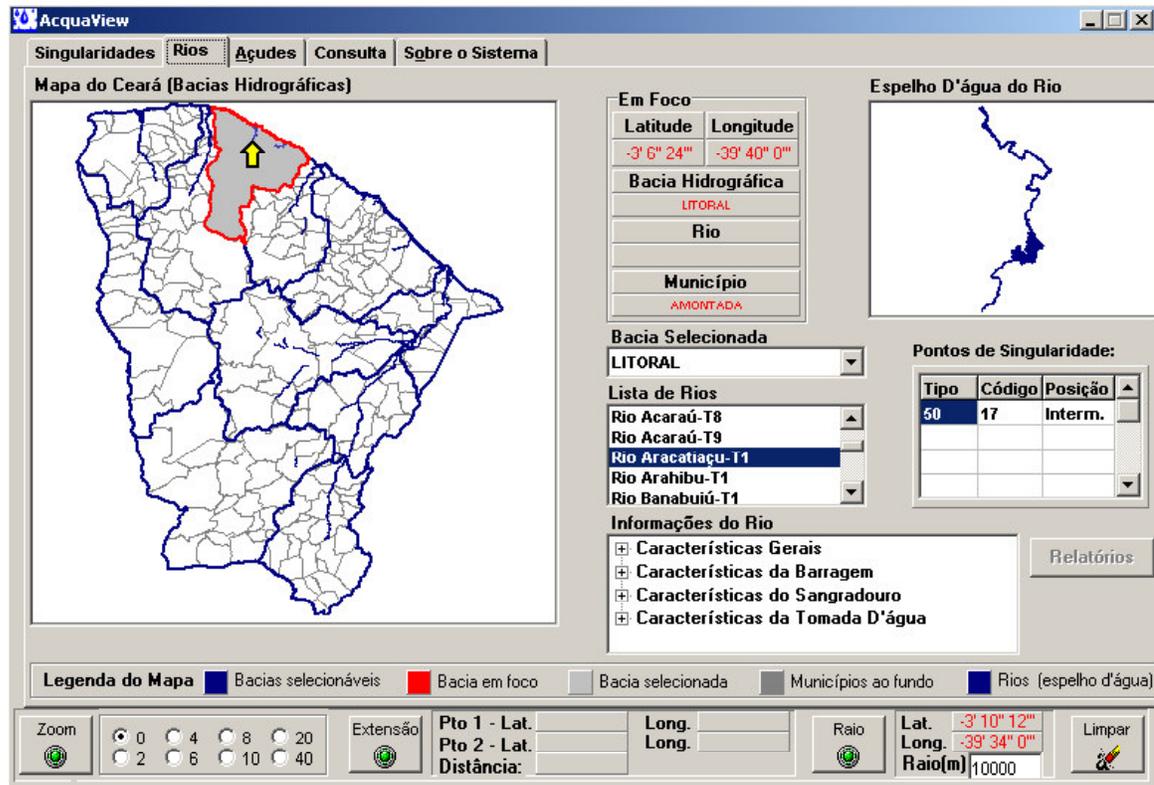


Figura 45 – Pasta de análise de rios.

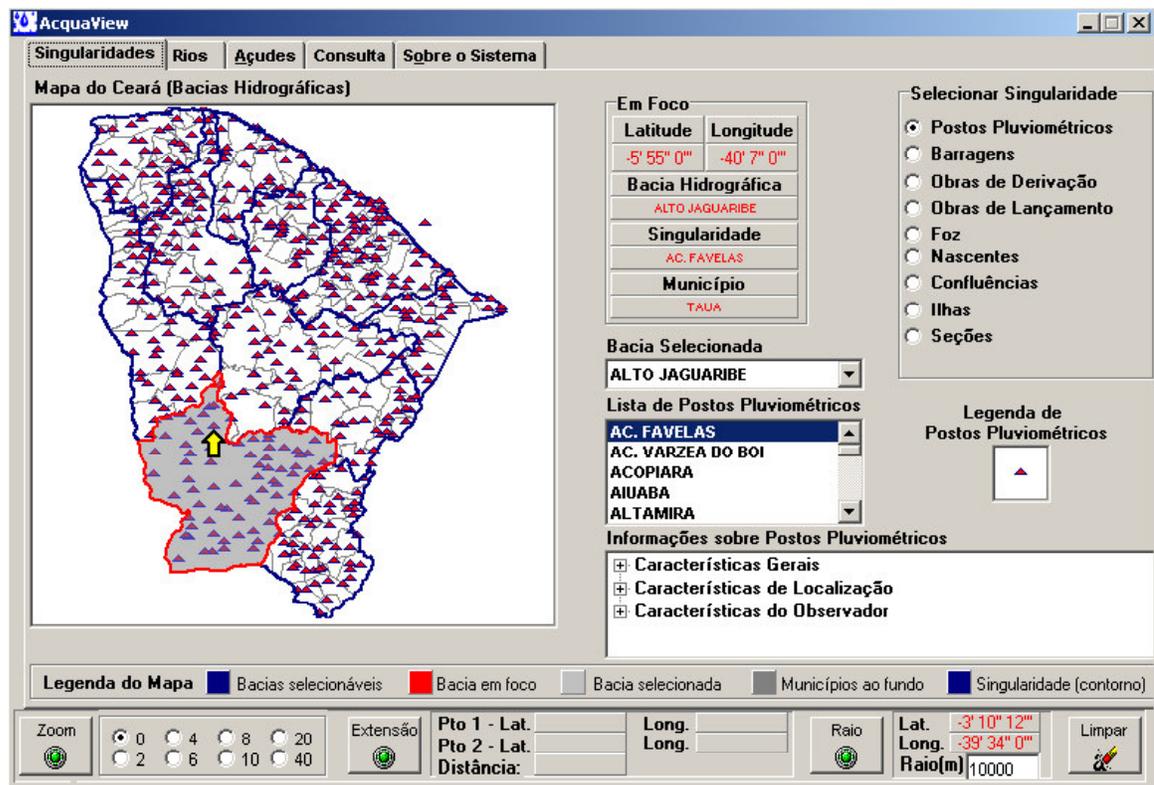


Figura 46 – Pasta de análise de singularidades.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE IMPLEMENTAÇÃO

O ACQUA VIEW foi desenvolvido com a ferramenta DELPHI 5 da Borland, baseada na linguagem Pascal, e utilizando-se exclusivamente os componentes fornecidos pelo fabricante. O código da ferramenta ACQUA VIEW foi construído segundo o paradigma da orientação objeto, e juntamente com o banco de dados, pode ser executado atualmente sob o ambiente operacional Windows 2000 da Microsoft.

Os diversos módulos do código fonte totalizam 1,54 Mb, e seu código executável ocupa 1,40Mb. Além do espaço destinado ao código executável, são necessários cerca de 17,4 Mb, que são ocupados pelo BDE (Borland Database Engine). O BDE é uma ferramenta exigida pela linguagem DELPHI 5 para a conexão com o banco de dados.

Implementado sob o SGBD ORACLE 9i, o esquema do banco de dados utiliza a tecnologia objeto-relacional e segue todos os conceitos básicos apresentados no modelo conceitual proposto. A tecnologia objeto-relacional disponível no ORACLE 9i, além da definição de funções e procedimentos (stored procedures), permite o uso da chamada hierarquia de tipos, como forma de simular o conceito de herança do paradigma orientação objeto. Essa “pseudo” herança, se dá apenas na definição do tipo de objeto de uma classe, e não aos objetos propriamente ditos. Com a definição de tipos e sub-tipos das classes, é possível a inserção de registros apenas nas tabelas de sub-tipos mais inferiores (nas folhas da hierarquia), e através de consultas, simular o conceito de herança de objetos. Este detalhe é explorado pela ferramenta ACQUA VIEW.

A figura 47 traz um exemplo da definição de tipos e sub-tipos utilizados na implementação do banco de dados, para os objetos e tabelas Recursos Hídricos, Hidrografia Natural, Rio e Trecho de Rio.

```
create or replace type REC_HIDRICO_TY as object(  
REC_TIPO                NUMBER(3),  
REC_CODIGO              NUMBER(10),  
REC_NOME                VARCHAR2(30),  
REC_REG_HIDROGRAFICA   NUMBER(7),  
REC_REP_GRAFICA_RF Ref REP_GRAFICA_TY  
) NOT FINAL  
/  
create or replace type HID_NATURAL_TU under REC_HIDRICO_TY (  
) NOT FINAL  
/  
create or replace type RIO_TU under HID_NATURAL_TU(  
RIO_NUM_TRECHOS        NUMBER  
) NOT FINAL  
/  
create or replace type TRECHO_RIO_TU under RIO_TU(  
TRC_SUB_REG_HIDROGRAFICA NUMBER(10),  
TRC_RIO_PRINCIPAL      NUMBER(10)  
)  
/  
Create table RIO_TB          of RIO_TU( )  
Create table TRECHO_RIO_TB  of TRECHO_RIO_TU( )  
Create table REC_HIDRICO_TB of REC_HIDRICO_TY( )  
/
```

Figura 47 – Script de criação do banco de dados.

6 CONCLUSÕES

Elaborar um modelo conceitual de dados representativo do mundo hídrico de superfície, voltado para o ambiente de SIG, com riqueza semântica e projetado de acordo com a nossa realidade, foi o objetivo primordial estabelecido nesta dissertação. São evidentes nos dias atuais, os esforços despendidos na busca de soluções no sentido de melhor gerir nossos recursos ambientais, e em especial a área de recursos hídricos. Os pesquisadores que atuam na área de banco de dados e de sistemas de informações geográficas estão preferencialmente aptos e devem contribuir na busca de soluções, quer na elaboração de modelos, conceitos ou padrões, quer na definição de estruturas de representação, relacionamentos e critérios de restrições a serem utilizados.

Diante do que nos é apresentado como desafio, podemos afirmar que com a definição do modelo conceitual ACQUA, atingimos o primeiro objetivo dessa dissertação e estamos contribuindo efetivamente para as pesquisas nessa área. Como modelo conceitual, o modelo ACQUA proposto traz consigo uma visão ampla do mini mundo recursos hídricos, representa de forma distinta e detalhada os objetos e relacionamentos envolvidos no gerenciamento de uma rede hídrica, apresenta conceitos de fácil entendimento entre usuários e projetistas, e estabelece critérios para a elaboração de um sistema de informação geográfica, específico de recursos hídricos, sem contudo considerar quaisquer aspectos sobre o sistema (software/hardware) no qual o modelo possa ser implementado. A adoção dos conceitos propostos pelo modelo ACQUA pode agilizar o fluxo de informações entre empresas, instituições e órgãos ligados à área de recursos hídricos. A abrangência, o detalhamento e a semântica empregada na definição dos objetos e suas topologias, podem ser apontados como diferenciais do modelo ACQUA em relação aos demais modelos analisados durante a pesquisa.

Utilizar o modelo proposto como base para a implementação de um banco de dados, com dados convencionais e dados geo-referenciados (com representação espacial), para dar suporte ao gerenciamento de recursos hídricos em ambiente de SIG, foi o segundo objetivo estabelecido nesta dissertação. Com a implementação do modelo em um banco de dados Oracle 9i, estamos não só demonstrando sua viabilidade e aplicabilidade, como também seu caráter aglutinador, pois consolida em uma única fonte, informações que se encontram dispersas em várias fontes de dados, tais como arquivos convencionais, planilhas, banco de dados convencionais e banco de dados geográficos proprietários. A implementação da proposta faz uso também da tecnologia objeto-relacional oferecida pela Oracle, que permite o uso da chamada hierarquia de tipos, como forma de simular o conceito de herança do paradigma orientação objeto. Essa simulação de herança agiliza a inclusão de objetos de uma classe, e facilita a consulta dentro da hierarquia definida pelos tipos e sub-tipos das classes.

O último objetivo estabelecido e realizado nesta dissertação foi o desenvolvimento de uma ferramenta interativa de análise e gerenciamento de informações geográficas, voltada inicialmente para a área de recursos hídricos. O ACQUA VIEW, como foi denominada a ferramenta, é um sistema de informações geográficas usado para explorar recursos hídricos de superfície, de uma forma interativa. A ferramenta oferece ao usuário final, entre outras funcionalidades: análise interativa de mapas georeferenciados, consultas “ad hoc” realizadas diretamente no banco de dados, funções espaciais, consultas gráficas a registros históricos e uma completa lista de atributos para cada objeto selecionado nos mapas. É importante salientar que essas funções espaciais foram desenvolvidas para a ferramenta e estão baseadas no sistema de coordenadas utilizado, e que na implementação do banco de dados, não foi empregado o cartucho espacial da Oracle, que traz consigo a indexação espacial e utiliza uma linguagem SQL estendida para uso de funções espaciais.

O modelo proposto é amplo e detalhado, e diante do que foi traçado como área de abrangência, pode-se dizer que ele é completo em termos de representação. Mesmo completo, ele não é fechado em si mesmo, permitindo expansões e atualizações. Seguem como sugestões para trabalhos futuros: A representação das águas subterrâneas, e a integração com o modelo de águas superficiais apresentado; O detalhamento do uso da água por cada tipo de usuário final; A incorporação de dados construtivos de cada estrutura hídrica; A representação de dados estatísticos necessários à simulação de operações de hidrosistemas; etc.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schimiguel, J.; Baranauskas, M.C.C.; Medeiros, C.B. Modelando a Interface de Aplicações em Sistemas de Informações Geográficas como Espaços de Comunicação – Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 2000.
- [2] Câmara, G. (et al.). Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas. - Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. xi, 197 p. li.
- [3] Câmara, G. Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Banco de Dados. PhD thesis, INPE, dezembro, 1995.
- [4] Egenhofer, M.J. Geographic Information Systems: Issues and Research Needs. In: *Proceedings ACM - PODS*, 1996.
- [5] Gordillo, S.; Balaguer, F.; Das Neves, F.; Generating the the Architecture of GIS Applications with Design Patterns. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Novembro, 1997.
- [6] Patel, J.(et al). Building a Scalable Geo-Spatial DBMS: Technology, Implementation, and Evaluation. In: *Proceedings of ACM-SIGMOD International Conference on Management of Data*, p.337-347, maio, 1997.
- [7] Schmidt, J.W.; Paredaens, J.; De Bra, P. Database Models, where they are going now? In: *Proceedings ACM - MFDBS*, 1987.

-
- [8] Smith, T.R.; Su, J.; Saran A. Virtual Structures - A Technique for Supporting Scientific Database Applications. In: *Proceedings ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems* , 1997.
- [9] Subramanian, R.; Adam, R.A. The Design and Implementation of an Expert Object-Oriented Geographic Information System. In: *Proceedings ACM - CIKM* , 1993.
- [10] Kim, W.S; Chang, D.C.; Lim, T.Y.; Shin, Y.H. Temporal Object-Oriented Data Model for the Schema Modification. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Database Systems for Advanced Applications - DASFAA*, abril, 1995.
- [11] Lécluse, C.; Richard, F.; Velez, F. O₂ an Object-Oriented Data Model. In: *Proceedings ACM - EDBT* , 1988.
- [12] T. Nyerges, 1993. "Understanding the Scope of GIS: Its Relationship to Environmental Modeling", chapter 8 in *Environmental Modeling with Geographic Information Systems*, edited by Michael Goodchild, Louis Steyaert, and Bradford Parks. London: Oxford University Press, pp. 75-93.
- [13] Silberschatz, A.; Korth H.F.; Sudarshan S. *Database System Concepts*. McGraw-Hill, 1996.
- [14] Elmasri R.; Navathe S.B. *Sistemas de Banco de Dados – Fundamentos e Aplicações*. 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- [15] Kazmierczac, M.L.; Escada, M.I.S. *II Curso de Geoprocessamento*. FUNCEME, agosto, 1995.
- [16] Codd, E.F. Data Models in Database Management. In: *Proceedings of the Workshop on Data Abstraction, Databases and Conceptual Modelling*, Pingree Park, Colorado, junho 23-26, 1980. SIGMOD Record 11(2) ACM Press 1981.

-
- [17] Borges, K. A. V.; Davis Jr., C. A.; Laender, A. H. F. OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. *GeoInformatica* 5(3):221-260, 2001
- [18] Erwig, M. (et al). Abstract and Discrete Modeling of Spatio-Temporal Data Types. In: *Proc. of ACM GIS*, p.131-136, novembro 1998.
- [19] Jones, C.B.; Ware, J.M. A Data Model for Representing Geological Surfaces. In: *Proc. of ACM-SIGMOD*, p.20-23, 1997.
- [20] Balaguer, F.; Gordillo, S. Refining an object-oriented GIS design model: Topologies and Field Data. In: *Proc. of ACM-GIS*, p.56-61, novembro 1998.
- [21] Laender, A. H. F. (et al). Spatial Data Integrity Constraints in Object Geographic Data Modeling. In: *Proc. of ACM-GIS*, p.1-6, novembro 1999.
- [22] Dayal, U.; Manola, F. PDM: An Object-Oriented Data Model. In: *Proceedings of the 1986 IEEE Data Engineering Conference*, p.18-25, 1986.
- [23] Manola, F.; Orenstein, J. A. Toward a General Spatial Data Model for an Object-Oriented DBMS. In: *Proceedings of the Twelfth International Conference on Very Large Databases*, p.328-335, agosto 1986.
- [24] Shekhar, S. (et al.). Data Models in Geographic Information Systems. *Communications of the ACM*, abril 1997, vol 40, n.4.
- [25] Gardels, K. The Open GIS Approach to Distributed Geodata and Geoprocessing. In: *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, Santa Fe, NM, janeiro 21-25, 1996. Disponível em <http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/gardels_kenn/ogismodl.html>. Acesso em: 01 set. 2004.

-
- [26] Câmara, G., R. Thomé, U. Freitas e A. Monteiro. Interoperability In Practice: Problems in Semantic Conversion from Current Technology to OpenGIS. In: *Proc. of the Second International Conference on Interoperating Geographic Information Systems*, p.129-138. Zürich, Switzerland, março 1999.
- [27] INPE. Modelo Conceitual do SPRING – Classes Básicas. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/esquema2.htm>>. Acesso em 01 set. 2004.
- [28] ESRI. ArcObject Online - Objects Model Overviews. Disponível em <<http://arcobjectsonline.esri.com>>. Acesso em: 01 set. 2004.
- [29] Mattoso (et al.). Estudo dos modelos de dados dos Sistemas de Informação Geográfica ARC/INFO e SPRING. COPPE/UFRJ, outubro, 1998.
- [30] Barnett, L.; Carlis, J. V. A “Roads” Data Model: A Necessary Component for Feature-Based Map Generalization. In *Proc. of ACM-GIS*, p.58-67, novembro 1997.
- [31] Universidade Federal de Pernambuco. Projeto SIGMA – Sistema de Informações para Gestão do Meio Ambiente Ênfase Recursos Hídricos. Recife, 2001. 1 CD.
- [32] COGERH. Banco de Dados Corporativo da COGERH. Fortaleza , 2002. (Informe Técnico, 042002).
- [33] SUDERHSA. Modelo de Dados para Recursos Hídricos SUDERHSA. GIS BRASIL 2002 – 8º Show de Geotecnologias. Curitiba (PR), 2002.
- [34] Davis Jr, C.A.; Davis, E.G. Uma proposta de modelagem de dados geográficos para hidrologia. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1:597-604, 1997
- [35] Davis Jr, C.A.; Figueiredo, L.C.C. Modelagem de dados geográficos para sistemas de informação de recursos hídricos. In: *Anais do I Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos* , Gramado (RS), 1998.

-
- [36] Iochpe, C.; Lisboa F., J. Adaptando o modelo de objetos OMT para modelagem conceitual de aplicações em SIG. In: SEGEO-RJ, 1., 1996, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Esc. Engenharia, 1996.
- [37] Lisboa F., J. Projeto Conceitual de Banco de Dados Geográficos através da Reutilização de Esquemas, utilizando Padrões de Análise e um Framework Conceitual. Ph. D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- [38] Lisboa F., J.; Iochpe, C. Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework. In *Proceedings ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 1999.
- [39] Lisboa F., J. Modelos Conceituais de Dados para Sistemas de Informações Geográficas. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1997. 120p. (EQ-12)
- [40] Lisboa F., J. In: LADEIRA, M.; NASCIMENTO, M.E.M. Modelagem de Bancos de Dados Geográficos. III Escola Regional de Informática do Centro-Oeste. Brasília-DF: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2000. pp.137-171.