

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

---

**MARCELLO BENIGNO BORGES DE BARROS FILHO**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GEOINFORMAÇÃO  
COMO SUPORTE AO GERENCIAMENTO DAS REDES DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**



**Recife, 2005**

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

---

---

**MARCELLO BENIGNO BORGES DE BARROS FILHO**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GEOINFORMAÇÃO**  
**COMO SUPORTE AO GERENCIAMENTO DAS REDES DE**  
**DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de Concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, defendida e aprovada no dia 11/03/2005.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lucilene Antunes C. Marques de Sá**

**Co-orientador: Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes**

**Recife, 2005**

---

---

**B277d**

**Barros Filho, Marcello Benigno Borges de**

Desenvolvimento de sistema de geoinformação como suporte ao gerenciamento das redes de distribuição de água / Marcello Benigno Borges de Barros Filho. – Recife : O Autor, 2005.

vi, 85 folhas. : il. ; tab. e fig.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2005.

Inclui bibliografia.

1. Cartografia. 2. Sistemas de geoinformação – Modelagem de dados espaciais. 3. Redes de abastecimento de água - Gerenciamento. 4. SIG. I. Título.

526 CDD (22.ed.)

UFPE  
**BCTG/2005-12**

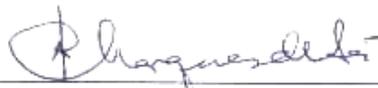
**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE  
GEOINFORMAÇÃO COMO SUPORTE AO  
GERENCIAMENTO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA**

POR

**MARCELLO BENIGNO BORGES DE BARROS FILHO**

Dissertação defendida e aprovada em 11.03.05.

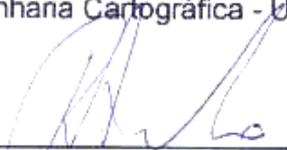
Banca Examinadora:



**Prof. Dr<sup>a</sup>. LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ (Orientadora)**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



**Prof. Dr. JOSÉ LUIZ PORTUGAL**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



**Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO**  
Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco

## DEDICATÓRIA

À minha querida e amada filha Alice e aos meus pais, que me ensinaram e me apoiaram ao longo da minha vida.

À minha orientadora e amiga Lucilene, por tudo que me proporcionaste.

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os professores do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, em especial ao Major Portugal, Andrea Carneiro e Ana Lúcia.

Aos professores da Universidade Federal de Campina Grande, Afonso Macêdo, por me apresentar à professora Lucilene e a Johannes Derks, pela carta de recomendação cedida, além de toda sua contribuição na minha formação na área de CAD e SIG.

Ao secretário adjunto da SEMARH – PB, professor Sérgio Góis, pela sua ajuda frente à liberação dos dados e pelos anos de trabalho no Laboratório de Geoprocessamento da UFCG.

Aos meus tios Henrique e Zeza, pelo apoio dado à minha pesquisa.

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, em especial aos funcionários Walkyria, Alba e Paulo Américo (grande amigo!), por acreditarem e apoiarem meu trabalho.

Ao meu co-orientador, professor Heber Pimentel Gomes, da Universidade Federal da Paraíba, pelos conhecimentos fornecidos durante a pesquisa.

A todos os meus colegas do mestrado, pelo companheirismo ao longo desses dois anos.

Ao meu amigo Artur Gil, pela troca de informações e experiências no campo profissional e acadêmico.

A CAPES/Propesq pelo financiamento desta pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO E PALAVRAS CHAVE</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT AND KEYWORDS</b> .....	<b>ii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	2
1.1.1 – Objetivo Geral .....	2
1.1.2 – Objetivos Específicos.....	2
<b>2. SISTEMAS DE GEOINFORMAÇÃO – SIG</b> .....	<b>4</b>
2.1 COMPONENTES DO SIG .....	7
2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS .....	8
2.3 ARMAZENAMENTO DE DADOS .....	8
2.4 ESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS .....	9
2.5 TOPOLOGIA .....	10
2.5.1 – Topologia Arco – Nó .....	12
2.5 DIAGRAMA DE VORONOI.....	15
2.6 APLICAÇÕES DE SIG EM COMPANHIAS DE SANEMANENTO.....	17
<b>3. CADASTRO EM COMPANHIAS DE SANEMANENTO</b> .....	<b>19</b>
3.1 CADASTRO COMERCIAL.....	19
3.2 CADASTRO TÉCNICO .....	21
3.2.1 – Sistemas de Abastecimento de Água .....	22
<b>4. MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS – MDE</b> .....	<b>25</b>
4.1 DIAGRAMA DE CLASSE.....	27
4.2 CASE (COMPUTER AIDED SOFTWARE ENGINEERING) .....	31

<b>5. METOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>34</b>
5.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	34
5.1.1 – Caracterização do Problema .....	34
5.1.2 – Coleta de Dados .....	35
5.1.3 – Implementação do Sistema Aplicativo .....	35
5.1.3.1 – Edição da Base Cartográfica .....	35
5.1.3.2 – Criação do Banco de Dados Espaciais .....	36
5.1.3.3 – Conversão dos dados para o Banco de Dados Espaciais .....	38
5.1.3.4 – Tratamento dos Dados Espaciais.....	39
5.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS .....	40
5.2.1 – Equipamentos Computacionais.....	40
5.2.2 – Programas Computacionais.....	40
5.2.3 – Bases de Dados Espaciais .....	40
5.2.3.1 – Base de Dados Descritivos .....	41
5.2.3.2 – Base de Dados Gráficos .....	41
<b>6. MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO .....</b>	<b>44</b>
6.1 ABSTRAÇÃO DO MUNDO REAL .....	46
6.1.1 – Descrição da Aplicação .....	46
6.2 SISTEMA PROPOSTO .....	48
6.2.1 – Função Principal do Sistema .....	48
6.2.2 – Atuação do Sistema Desenvolvido .....	48
6.2.3 – Resumo do Sistema .....	48
6.2.4 – Restrições que afetam o sistema .....	49
6.3 MODELO CONCEITUAL .....	49
6.4 DICIONÁRIO DE DADOS .....	57
6.4.1 – PontoCotado .....	57
6.4.2 – RedeAbastAgua .....	57
6.4.3 – TrechoRede .....	58
6.4.4 – Bomba .....	58
6.4.5 – SentidoFluxo .....	59
6.4.6 – PontoConsumo .....	59
6.4.7 – PontoNotavel .....	59

6.4.8 – Peca .....	60
6.4.9 – Equipamento .....	60
6.4.10 – Medidor .....	60
6.4.11 – Ramal .....	61
6.4.12 – EstacaoElev.....	61
6.4.13 – Reservatorio .....	62
6.4.14 – LimiteComercial .....	62
6.4.15 – QuadraCagepa .....	63
6.4.16 – LoteCagepa.....	63
6.4.17 – CadCliente .....	64
6.4.15 – Descrição dos Domínios .....	65
<b>6.5 RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
6.5.1 – Análises de Rede.....	71
6.5.2 – Substituição de Redes de Distribuição .....	73
6.5.3 – Implantação de Novas Válvulas .....	74
6.5.4 – Variação no Consumo de Água .....	76
<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>78</b>
7.1 CONCLUSÕES .....	78
7.2 RECOMENDAÇÕES .....	80
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>81</b>

## **RESUMO E PALAVRAS CHAVE**

BARROS FILHO, Marcello Benigno Borges de. **Desenvolvimento de Sistema de Geoinformação como Suporte ao Gerenciamento das Redes de Distribuição de Água**. Recife, 2005, 85 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A pesquisa apresenta o desenvolvimento de um aplicativo em SIG que possibilita o gerenciamento das redes de abastecimento de água. Com este sistema aplicativo tornar-se-á possível determinar quais válvulas devem ser acionadas em caso de vazamentos e manutenções na rede de abastecimento, e os consumidores que serão afetados com a manobra. Para a sua criação utilizou-se a Modelagem de Dados Espaciais, que é composta pelas fases de abstração do mundo real, criação do modelo conceitual e implementação do modelo físico, e os conceitos sobre topologia de rede. Para validar a metodologia utilizada foi desenvolvido um projeto piloto na cidade de Campina Grande – PB, com os dados da CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, sendo utilizado parte do sistema de abastecimento da cidade. Os testes com o projeto piloto provaram que a partir da metodologia empregada na pesquisa, é possível obter um gerenciamento mais eficaz nas operações de fechamento e abertura das válvulas, tendo como consequência a redução de perdas de água e do tempo total dos serviços de manutenção.

**Palavras-chave:** Modelagem de Dados Espaciais, redes de abastecimento, SIG.

## **ABSTRACT AND KEYWORDS**

The research presents the development of a GIS application that makes possible the management of water network supplies. With this application it is possible to determine which valves should be closed in the case of leaks and maintenance in the network of supply, and the respective consumers affected by these maneuvers. For this application, spatial data modeling was used, that it is composed of phases of abstraction of the real world, creation of the conceptual model and implementation of the physical model, besides the concepts on network topology. In order to validate the methodology used a pilot project was developed in the city of Campina Grande-PB, with the data of CAGEPA- Company of Water and Sewerage of Paraíba, where part of the supply system of the city was used. The tests with the pilot project proved that with the developed methodology, it is possible to obtain a more effective administration in the closing and opening operations of the valves, having a consequence the reduction of loss of water and the total time of maintenance services.

**Keywords:** Spatial Data Modeling, Supply Network, GIS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Exemplo de Sistema de Coordenadas	5
Figura 2:	Armazenamento com topologia	11
Figura 3:	Relações Topológicas	12
Figura 4:	Topologia Arco – Nó	14
Figura 5:	Diagrama de Voronoi com 12 locais	15
Figura 6:	Área de Influência de um nó principal	16
Figura 7:	Exemplo de geocodificação dos consumidores	20
Figura 8:	Mapa utilizado pelo cadastro técnico da COMPESA	22
Figura 9:	Etapas da modelagem de dados espaciais	25
Figura 10:	Cardinalidade	28
Figura 11:	Diagrama de Classe	29
Figura 12:	Estereótipos do modelo UML-GeoFrame	30
Figura 13:	Diferenciando objetos geográficos dos convencionais	30
Figura 14:	Interface do Microsoft Visio	32
Figura 15:	Interface do CASE Perceptory	33
Figura 16:	Exportação do Modelo conceitual para o formato .XML	36
Figura 17:	Modelo conceitual no formato .XML	37
Figura 18:	Criação do Banco de Dados Espaciais a partir do arquivo .XML	37
Figura 19:	Criação das regras topológicas	38
Figura 20:	Identificação e correção das entidades gráficas	39
Figura 21:	Dados alfanuméricos do Cadastro Comercial	41
Figura 22:	Base Cartográfica da cidade de Campina Grande	43
Figura 23:	Localização de Campina Grande em Relação a João Pessoa	44
Figura 24:	Área de Validação do Modelo	45
Figura 25:	Representação dos Ramais Prediais	47
Figura 26:	Diagrama dos Elementos Base	50
Figura 27a:	Diagrama do Cadastro Técnico (Parte 1)	51
Figura 27b:	Diagrama do Cadastro Técnico (Parte 2)	52
Figura 28:	Diagrama do Cadastro Comercial	53
Figura 29:	Diagrama da Hipsografia	54
Figura 30:	Relacionamento entre as classes	54

Figura 31a:	Domínios (parte 1)	55
Figura 31b:	Domínios (parte 2)	56
Figura 32:	<i>Hyperlink</i> entre a estação elevatória e sua respectiva foto	70
Figura 33:	Identificação do local da avaria	71
Figura 34:	Identificação das válvulas a serem fechadas	72
Figura 35:	Consumidores atingidos pelo desabastecimento	73
Figura 36:	Ponto definido para instalação de válvula	74
Figura 37:	Área de influência no ponto definido	75
Figura 38:	Atributos da válvula instalada	75
Figura 39:	Área de influência após instalação da válvula	76
Figura 40:	Carta da Variação do Consumo de Água Potável	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Vantagens e desvantagens do modelo Matricial e Vetorial	10
Tabela 2:	Elementos Básicos de um Sistema de Abastecimento de Água e suas representações	13
Tabela 3:	Áreas do Município de Campina Grande	44
Tabela 4	Classe Ponto Cotado	57
Tabela 5	Classe RedeAbastAgua	58
Tabela 6	Classe Bomba	58
Tabela 7	Classe PontoConsumo	59
Tabela 8	Classe PontoNotavel	59
Tabela 9	Classe Equipamento	60
Tabela 10	Classe Medidor	60
Tabela 11	Classe Ramal	61
Tabela 12	Classe EstacaoElev	61
Tabela 13	Classe Reservatorio	62
Tabela 14	Classe LimiteComercial	62
Tabela 15	Classe QuadraCagepa	63
Tabela 16	Classe LoteCagepa	63
Tabela 17	Classe CadCliente	64
Tabela 18	Valores do Domínio DiametroHidrometro	65
Tabela 19	Valores do Domínio DiametroRamal	66
Tabela 20	Valores do Domínio ClasseHidrometro	66
Tabela 21	Valores do Domínio MaterialLigacaoAgua	66
Tabela 22	Valores do Domínio FonteAbastecimento	67
Tabela 23	Valores do Domínio CapacidadeReservatorio	67
Tabela 24	Valores do Domínio LocalInstalacaoAgua	68
Tabela 25	Valores do Domínio SituacaoDoEquipamento	68
Tabela 26	Valores do Domínio PavCal	68
Tabela 27	Valores do Domínio LocalInstalacaoHidrometro	69
Tabela 28	Valores do Domínio PavRua	69
Tabela 29	Valores do Domínio MatRedeAbastecimento	69

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM/FM	<i>Automated Mapping / Facility Management</i>
BDE	Banco de Dados Espaciais
CAD	<i>Computer Aided Drawing</i>
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CAM	<i>Computer Aided Mapping</i>
CASE	<i>Computer Aided Software Engineering</i>
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
DECart	Departamento de Engenharia Cartográfica
EIS	<i>Executive Information System</i>
GeoOOA	<i>Geographical Object Oriented Analysis</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelagem de Dados Espaciais
OMT	<i>Object Modeling Technique</i>
OOA	<i>Object Oriented Analysis</i>
PVLs	<i>Plug-ins for Visual Language</i>
SAD-69	<i>South American Datum - 69</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition System</i>
SIG	Sistemas de Geoinformação
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
XMI	<i>Metadata Interchange</i>

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades exercidas pelas Companhias de abastecimento de água e saneamento compreendem desde a produção e a distribuição de água até a coleta, o tratamento e a disposição de esgotos. Essas ações, direta ou indiretamente, acabam por ter impacto em diversos setores, tais como: no meio ambiente, na saúde pública, na qualidade de vida e na economia. Procurando alcançar a primazia em seus objetivos, torna-se essencial a busca da qualidade de seus produtos e serviços, bem como, a eficiência nos seus processos os quais podem ser atingidos através de tecnologias como a coleta de dados, através do *Global Positioning System* – GPS, a Cartografia digital e os Sistemas de Geoinformação – SIG.

O setor de saneamento básico no Brasil vem apresentando ao longo das últimas décadas, altos índices de perdas de água, os quais devem ser combatidos através de um conjunto de ações que incluam um melhor planejamento, operação e manutenção dos elementos que o constituem (SNIS, 2002).

O crescente aumento do consumo de água potável, devido ao crescimento populacional e a forma desordenada de ocupação dos núcleos urbanos, têm levado as Companhias de saneamento a atenderem um número maior de usuários com obras improvisadas que por sua vez, distorcem o sistema de distribuição, nas suas características físicas e hidráulicas, favorecendo o aumento de rompimentos e de vazamentos na rede de distribuição.

Nesse sentido, os recursos disponíveis em um SIG permitem efetuar análises espaciais, simulações de operação e manutenção em sistemas de abastecimento de água, além de possibilitar, em um único ambiente, o intercâmbio de informações entre o cadastro técnico, responsável pelas redes de infra-estrutura, e o cadastro comercial, responsável pelas informações relativas aos consumidores. As informações contidas nestes cadastros são frequentemente manipuladas de forma isolada, para atender propósitos específicos, sem que haja um recurso tecnológico que as associe.

Para interromper um determinado vazamento de água em um trecho da rede e promover o seu reparo, a Companhia de Saneamento deve rapidamente identificar a menor quantidade possível de registros a serem fechados, evitando que a manobra atinja uma quantidade maior de usuários do que o estritamente necessário, bem como, a perda de tempo no fechamento de registros desnecessários.

Para a realização dessas manobras, as Companhias na maioria das vezes, contam com o conhecimento e a experiência de funcionários antigos dos setores de operação e manutenção, que geralmente foram descobrindo através da prática o que fazer e como operar. Diante desta situação, os funcionários possuem noções empíricas do funcionamento das redes e das suas peculiaridades. Assim, o setor operacional das Companhias torna-se dependente desses operadores e a tomada de decisão fica apoiada no empirismo e na improvisação, surgindo a necessidade de um gerenciamento mais eficiente dos sistemas de abastecimento.

Algumas iniciativas isoladas no Brasil estão buscando a utilização de Sistemas de Geoinformação em Companhias de saneamento, mas, na maioria das vezes sem a aplicação de um método de Modelagem de Dados Espaciais - MDE, que pode ser a base para o sucesso do desenvolvimento do sistema aplicativo. Dessa forma, a pesquisa tem como meta estabelecer uma metodologia que contribua com o monitoramento de avarias em redes de abastecimento de água.

## **1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.1.1 – Objetivo Geral**

Desenvolver um sistema aplicativo com base em SIG para o gerenciamento de redes de distribuição de água, seus componentes e respectivos consumidores.

### **1.1.2 – Objetivos Específicos**

- Empregar Modelagem de Dados Espaciais no desenvolvimento do sistema aplicativo com base em SIG;

- Elaborar um aplicativo SIG capaz de identificar quais válvulas devem ser acionadas no caso de vazamentos e manutenções na rede de abastecimento, e quais os respectivos consumidores afetados.
- Analisar o modelo conceitual para sistemas de abastecimento de água, no tocante às redes de distribuição;
- Validar o modelo conceitual com a implementação de um modelo físico.

## 2. SISTEMAS DE GEOINFORMAÇÃO – SIG

Os Sistemas de Geoinformação foram desenvolvidos inicialmente nos anos 60. A partir dos avanços tecnológicos das Ciências da Computação e da Eletrônica, foram desenvolvidos processos e técnicas que permitiram representar e sobrepor documentos cartográficos em mídia magnética (PEUQUET, 1990). O armazenamento, a recuperação e as análises dos dados espaciais passaram a ser executados em um intervalo de tempo bastante inferior as técnicas analógicas tradicionais.

Devido a sua diversidade de aplicações, a definição de SIG pode ser dividida em três categorias, refletindo cada uma à sua maneira a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia (BURROUGH e McDONELL, 1988):

- Baseada em ferramentas: SIG é um poderoso conjunto de técnicas e procedimentos capazes de coletar armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real (BURROUGH, 1986);
- Baseada em bancos de dados: SIG é um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais (SMITH et al., 1987);
- Baseada em estruturas organizacionais: SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas (COWEN, 1988).

De acordo com GOODCHILD (1993), os Sistemas de Geoinformação diferem dos CAD (*Computer Aided Drawing*), CAM (*Computer Aided Mapping*) e AM/FM (*Automated Mapping / Facility Management*) por sua capacidade de estabelecer relações topológicas entre os elementos gráficos.

Desta forma, ao trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, os SIG tendem a evoluir do descritivo para o prognóstico. Em vez de simplesmente

descrever elementos ou fatos, podem traçar cenários e fazer simulações com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas (MOURA, 2003).

O requisito de armazenar a geometria dos dados espaciais e seus componentes representa uma dualidade básica dos SIG. Para ARONOFF (1989), um dado espacial representa um objeto ou fenômeno do mundo real em termos de sua posição geográfica em relação a um sistema de coordenadas, seus atributos, suas relações espaciais e o tempo.

A posição espacial pode ser expressa através de coordenadas planas retangulares, como mostra a Figura 1. Neste caso, as coordenadas no sistema UTM – Universal Transversa de Mercator, indicam a localização dos objetos sobre um plano de projeção cartográfico relativo à superfície terrestre (SÁ, 2001).

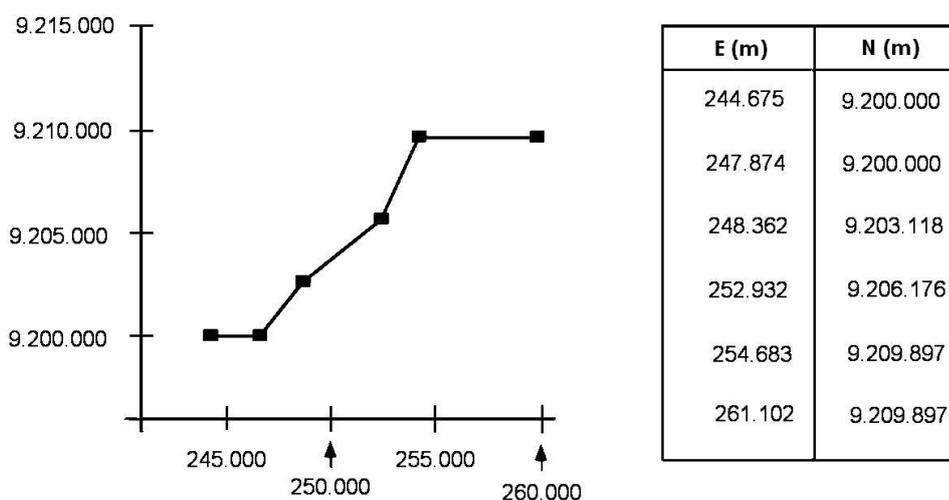


Figura 1 – Exemplo de Sistema de Coordenadas

Fonte: SÁ (2001)

Os atributos armazenam as características das entidades mapeadas, podendo ser quantitativos ou qualitativos, descritos de forma numérica ou textual. Nome, população e orçamento anual de um município são exemplos de atributos (BONHAM-CARTER, 1996).

As relações espaciais são determinadas pela topologia. Aos dados espaciais, também está associada à componente tempo, que expressa as características temporais, sazonais ou periódicas dos objetos. Segundo NEWELL (1992), o aspecto temporal em SIG, pode incluir três tipos de medida de tempo: instante de tempo, intervalo de tempo e relacionamentos envolvendo o tempo, como noções de antes, durante, e depois.

No contexto geográfico, GOODCHILD (1993) afirma que a realidade pode ser observada segundo duas visões: de campos e de objetos. Na representação através de campos, a realidade é modelada por variáveis que possuem uma distribuição contínua no espaço, como por exemplo: variações de temperatura em determinada área, características geológicas, precipitações, solos, entre outras. Todas as variáveis, no espaço geográfico, estão associadas a algum valor correspondente à variável representada. Já na visão de objetos, a realidade é representada por elementos com geometria e características próprias, como lotes em um cadastro urbano, malha viária ou postes em uma rede elétrica.

Devido ao seu caráter multidisciplinar, os SIG têm tido o seu emprego ampliado e difundido. Têm sido utilizados por diversas áreas como: geologia, hidrologia, agricultura, urbanismo e as engenharias civil, de transportes e de minas. As aplicações estão ligadas à atuação do homem sobre o meio físico, em atividades cuja análise combina manipulação de mapas e dados (LAURINI e THOMPSON, 1992), como por exemplo:

- Projeto de vias (rodovias, ferrovias, canais, etc.) de irrigação, de loteamentos, drenagem, dentre outros;
- Operação de redes de infra-estrutura (água, esgoto, gás, telefone, e eletricidade);
- Planejamento urbano, regional, agrícola ou de transporte análise espacial ambiental, geológica, urbana, regional e de transportes gerenciamento de processos agrícolas e de variados processos de distribuição e alocação;

- Monitoramento de processos ambientais, urbanos e regionais;
- Gerenciamento de redes de infra-estrutura, equipamentos, dentre outros.

De fato, cada área traduz suas aplicações de modo bastante específico, conforme suas necessidades, levando a desenvolvimentos diferentes para um tipo particular de problema. No entanto, a abordagem conceitual e básica de todas as aplicações tem em comum a estrutura da tecnológica do SIG. Além disso, um SIG é muito mais do que um conjunto de programas computacionais, mas exige um conhecimento da área de aplicação, da organização, e da Modelagem de Dados Espaciais a ser empregada.

## 2.1 COMPONENTES DO SIG

De acordo com WILLIAMSON (2000), um SIG integra cinco componentes:

- Equipamentos: configuram o ambiente computacional de operação;
- Programas computacionais: correspondem ao aplicativo desenvolvido para realizar as funções do sistema;
- Dados: são a componente mais importante do SIG, pois sem estes ou com dados pouco confiáveis não se pode obter resultados adequados;
- Métodos: em um SIG, correspondem à implementação das regras do negócio, que são procedimentos e práticas únicos em cada organização, fazendo com que o sistema opere de forma adequada à mesma;
- Equipe Técnica: pessoas que mantêm, organizam, e desenvolvem as aplicações. Estes sistemas necessitam tanto de especialistas e técnicos como também dos usuários, e da atualização periódica adequada à necessidade da base de dados espaciais.

## 2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS

Quanto à aquisição dos dados espaciais, THAPA e BURTCH (1990) classificam o processo de coleta em primária e secundária. A coleta primária é feita através dos métodos tradicionais e automatizados da topografia, fotogrametria e sensoriamento remoto. Já a coleta secundária é feita através de documentos cartográficos já existentes.

O desenvolvimento de um SIG envolve a integração de dados de múltiplas fontes, com precisão, escala, estrutura geométrica, resolução espacial e outras características variadas. O conhecimento acerca da qualidade dos dados coletados é crucial, pois permite aos projetistas tomarem decisões válidas acerca de sua utilização em aplicações específicas, de acordo com a sua finalidade (THAPA e BOSSLER, 1992).

A confecção da base cartográfica é sem dúvida a etapa mais longa e onerosa no desenvolvimento do SIG. No início da década de 90, estimativas mostravam que a base de dados espaciais totalizava um custo cerca de 10 vezes superior ao dos programas SIG e 100 vezes superior ao dos equipamentos (BURROUGH, 1992). O elevado custo de estruturação da base de dados espaciais e a facilidade de reproduzir dados em mídia digital tornaram necessária a criação de métodos que evitassem a redundância na confecção e no armazenamento. Com essa finalidade, em vários países foram adotados padrões uniformes de produção e distribuição de dados espaciais (TAPTAN e ALTAN, 1999).

## 2.3 ARMAZENAMENTO DE DADOS

O componente de armazenamento, denominado sistema de banco de dados, estrutura e armazena os dados de forma a possibilitar a realização das operações de análise e consulta. Devido à complexidade das aplicações que são desenvolvidas a partir de um SIG, projetar o banco de dados espaciais tem sido um dos grandes desafios para as organizações públicas e privadas (RIGAUX, et. al, 2002).

Um banco de dados pode ser visto como um modelo abstrato de uma porção do mundo real, uma vez que, seus dados representam um subconjunto de elementos pertencentes a ele (BEDARD, 1999). Abstrair uma porção do mundo real para projetar um banco de dados implica em selecionar as entidades que são significativas para a aplicação e determinar suas características essenciais para que o seu funcionamento seja adequado ao sistema, identificando como elas podem ser estruturadas juntamente com seus relacionamentos.

Tradicionalmente, os SIG armazenavam os dados espaciais e seus atributos em arquivos internos, sendo que tal solução tem sido substituída nos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD), que possuem as seguintes características (LAURINI e THOMPSON, 1992): apresentação dos dados numa visão independente dos sistemas aplicativos, eficiência (acesso e modificações de grande volume de dados), integridade (controle de acesso por múltiplos usuários) e persistência (manutenção de dados por longo tempo, independente dos aplicativos que acessem o dado). O uso de SGBD permite ainda, realizar com maior facilidade, a interligação de banco de dados já existente com o SIG.

## 2.4 ESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS

No que diz respeito à realidade geográfica, existem duas estruturas de representação associadas aos dados espaciais: estrutura matricial ou raster, e a estrutura vetorial.

A estrutura matricial representa a realidade que através de uma grade regular constituída de *pixels (picture element)*, onde cada célula ou *pixel* contém um valor único (TOMLIN, 1990).

Na estrutura vetorial, as entidades do mundo real são representadas através de três primitivas: ponto, linha e polígono. Os pontos são definidos por um par de coordenadas, linhas e polígonos são representados por seqüências de pares de coordenadas, sendo que nos polígonos o último par coincide exatamente com o primeiro (HARMON, 2003). A Tabela 1 compara as principais vantagens e desvantagens de ambos os formatos.

Tabela 1 – Vantagens e Desvantagens do Modelo Matricial e Vetorial

<b>FORMATO</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
<b>MATRICIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura de dados mais simples;</li> <li>• Operações entre níveis de informação são mais facilmente e eficientemente implementadas;</li> <li>• Fenômenos com alta variabilidade espacial são representados mais eficientemente;</li> <li>• Adequado para utilização de imagens digitais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura pouco compacta</li> <li>• Dificil representação das relações topológicas</li> <li>• Saídas gráficas com má delineação</li> </ul>
<b>VETORIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura de dados compacta;</li> <li>• Eficiência na representação e análise das relações topológicas;</li> <li>• É mais apropriado a suportar gráficos que se aproximam de mapas desenhados à mão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrutura de dados complexa;</li> <li>• Dificil análise de sobreposição de áreas;</li> <li>• A representação de alta variabilidade espacial é ineficiente.</li> </ul>

Fonte: BRAVO e CERDA (1995)

## 2.5 TOPOLOGIA

Uma das características mais importantes dos SIG é sua capacidade de armazenar a topologia entre os objetos espaciais (ARONOFF, 1989). A topologia é tradicionalmente definida como o ramo da matemática que estuda as propriedades das relações geométricas dos elementos em um espaço não quantitativo. Relações estas que são: vizinhança, pertinência, conexão, inclusão e interseção (PEUQUET, 1990). Estes relacionamentos são fundamentais para possibilitar a realização de diversos tipos de análises espaciais.

No processo de geração da topologia, as coordenadas dos nós, arcos e polígonos são armazenados em tabelas que instruem o computador sobre o relacionamento destas entidades, possibilitando a formulação de algoritmos na resolução de problemas (HARMON, 2003).

A Figura 2 mostra o armazenamento de dados com a topologia (MOREHOUSE, 1992). A primeira tabela contém para cada polígono, o número total de arcos e a identificação dos arcos que formam o polígono (sinal positivo no sentido da digitalização e negativo indicando sentido contrário). Uma segunda tabela contém, para cada arco, os nós inicial e final que formam o arco e quais os polígonos que estão à direita e à esquerda do arco. Neste método, arcos adjacentes a dois polígonos são armazenados uma única vez no banco de dados.

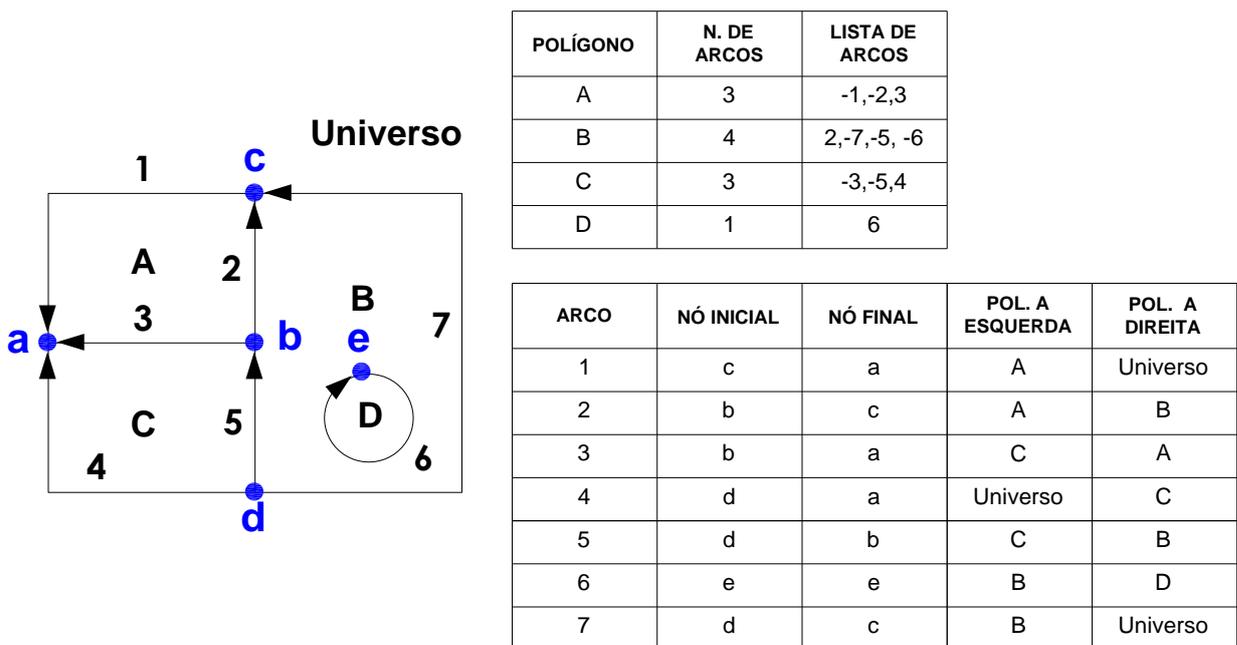


Figura 2 – Armazenamento com Topologia

Fonte: adaptado de MOREHOUSE (1992)

A partir desta estrutura, EGENHOFER (1990) propôs oito tipos de relações entre entidades espaciais, são elas: disjunto, tocam, igual, dentro de, contém, cobre, coberto por e sobreposição (Figura 3).

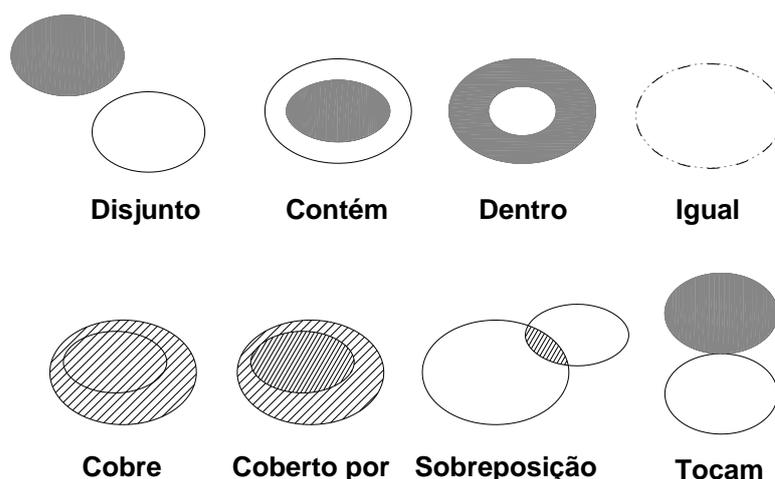


Figura 3 – Relações Topológicas

Fonte: adaptado de ENGENHOFER (1997)

### 2. 5.1 – Topologia Arco – Nó

Armazenamento que visa manter os relacionamentos entre feições lineares e pontuais, são direcionadas a solucionar problemas em áreas de aplicações que são baseadas em estruturas de rede. Como exemplo, vias públicas, redes de abastecimento de água, luz e telefonia podem ser representadas através dessa estrutura, nos quais os elementos são armazenados em formato vetorial, onde os arcos podem ou não ser direcionados, e estão associados a variáveis como: distância, custo ou capacidade de fluxo. Os nós, de forma semelhante são associados a: equipamentos, derivações ou pontos de demanda por serviços (BURROUGH, 1998).

Logo, uma rede de abastecimento de água pode ser representada através de uma estrutura topológica do tipo arco-nó onde os arcos representam as tubulações e os nós representam conexões, válvulas, medidores, dentre outros (LIM e PRATTI, 1997). Esta forma de representação gráfica é transferida para a forma de representação matemática, que por sua vez é utilizada na formulação de algoritmos.

SCHULZ e McLAUGHLIN (1995) apresentam os elementos de maior importância em um sistema de abastecimento de água e como devem ser representadas as feições no SIG, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Elementos básicos de um Sistema de Abastecimento de Água e suas Representações

<b>Representação</b>	<b>Elemento</b>
Polígono ou Nó	Reservatório
Nó	Hidrante
Nó	Nó do modelo hidráulico
Arco	Tubo
Registro	Número do tubo
Nó	Válvula
Nó	Bomba
Polígono	Área de cobertura do abastecimento
Nó	Mudança de pressão

Fonte: adaptado de SCHULZ e McLAUGHLIN (1995)

FEINBERG e UHRICK (1997) consideram de fundamental importância uma metodologia, para classificar os elementos do sistema de distribuição de água, sua topologia e o tamanho da base de dados SIG. Estes autores ressaltam que para facilitar as atividades de simulação, os elementos de um sistema de abastecimento de água devem estar topologicamente conectados, citam ainda, o seccionamento de tubulações em posições hidráulicamente significativas, tais como:

- Pontos de origem;
- conexões a outros elementos;
- estações de recalque;
- dispositivos de controle de pressão e de vazão;
- mudança de diâmetros da tubulação;
- poços de visita; e
- mudança abrupta no sentido da tubulação.

Pode-se observar um exemplo da topologia arco-nó na Figura 4, onde um conjunto de pares de pontos, denominados de vértices, definem a forma de um arco.

Os pontos iniciais e finais do arco são chamados de nós. Cada arco possui dois nós: um “DE-NÓ” e outro “PARA-NÓ”.

Os arcos podem ser unidos somente pelos seus nós. O trajeto dos arcos que se encontram em um determinado nó, permite que o SIG reconheça quais são os arcos que se conectam entre si (GOODCHILD, 1993).

A Figura 4 apresenta os arcos de números 1, 5 e 2 que convergem para o nó 3. O Sistema agora reconhece que é possível viajar ao longo do arco 3 e passar para o arco 7, pois compartilham de um nó comum, no caso o nó 4, mas não é possível o fluxo passar diretamente do arco 2 para o arco 7, porque os mesmos não partilham de um nó em comum (GOODCHILD, 1993).

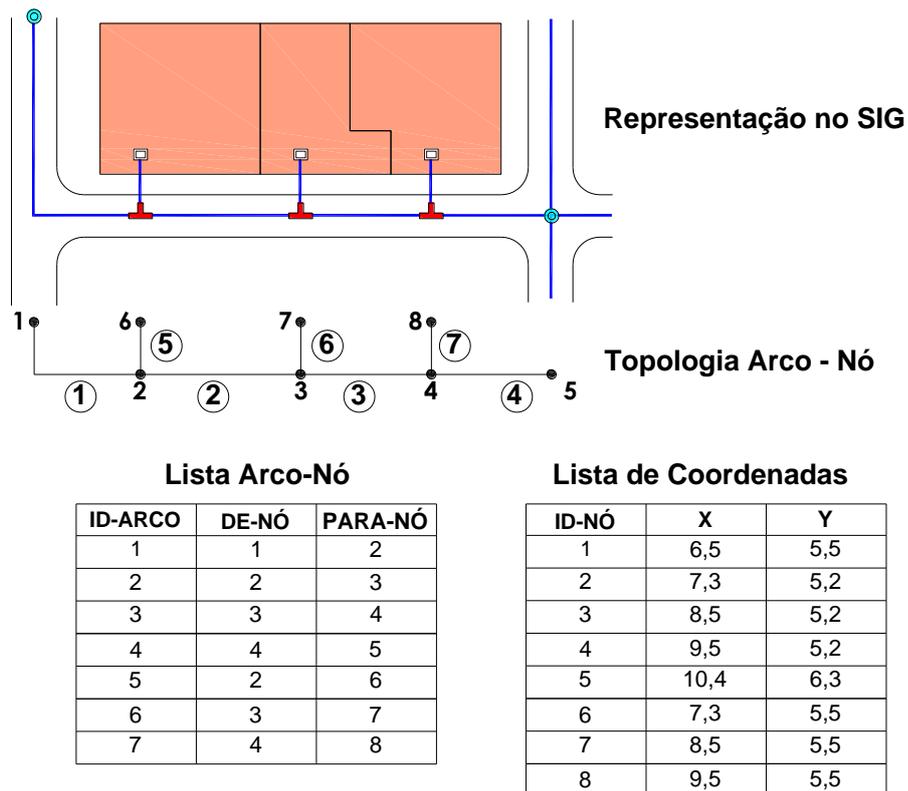


Figura 4 – Topologia Arco – Nó

## 2.5 DIAGRAMA DE VORONOI

O princípio do diagrama de Voronoi é de que, considerando um território, há pontos que estão mais próximos de uma fonte geradora do que de outra fonte, e o resultado é um polígono cujas distâncias são as menores possíveis (MOURA, 2003). Com isso, é possível responder com eficiência a uma grande variedade de perguntas a respeito de proximidade, como por exemplo: qual local mais próximo de um determinado ponto, qual a maior região desocupada, qual é o vizinho mais próximo de um local, entre outras (Figura 5).

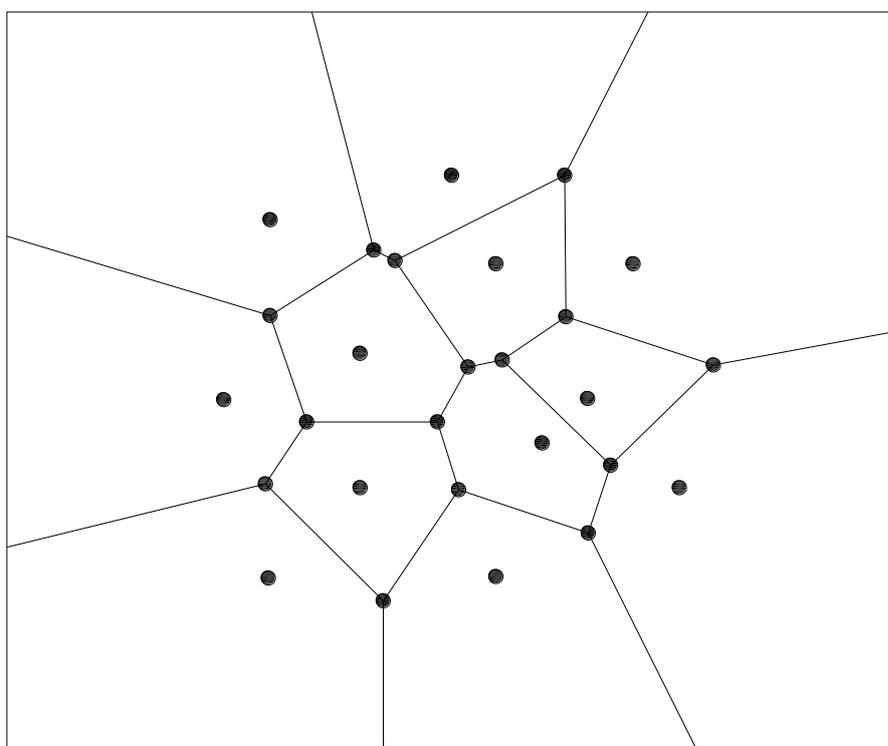


Figura 5 – Diagrama de Voronoi com 12 Locais

O procedimento de construção do diagrama de Voronoi é realizado da seguinte forma (ANAND, 2003):

- Conectar cada ponto amostral ao vizinho mais próximo, através de segmentos de retas;
- construir perpendiculares bissetrizes nos segmentos de retas que conectam os pontos;

- unir todas as bissetrizes nas retas que conectam os pontos; e
- unir as retas bissetrizes, formando o polígono que delimita a área de influência de um ponto amostral.

O diagrama de Voronoi possui inúmeras aplicações em SIG, podendo ser empregado sempre que a aplicação envolver um grande número de consultas sobre proximidades a pontos de interesse. Exemplos da utilização do diagrama de Voronoi na área de saneamento são encontrados em ANAND (2003) e MARTÍNEZ-SOLANO et. al. (2002). A Figura 6 mostra como as áreas de influência dos nós principais de uma rede de distribuição de água são definidas a partir desta técnica.

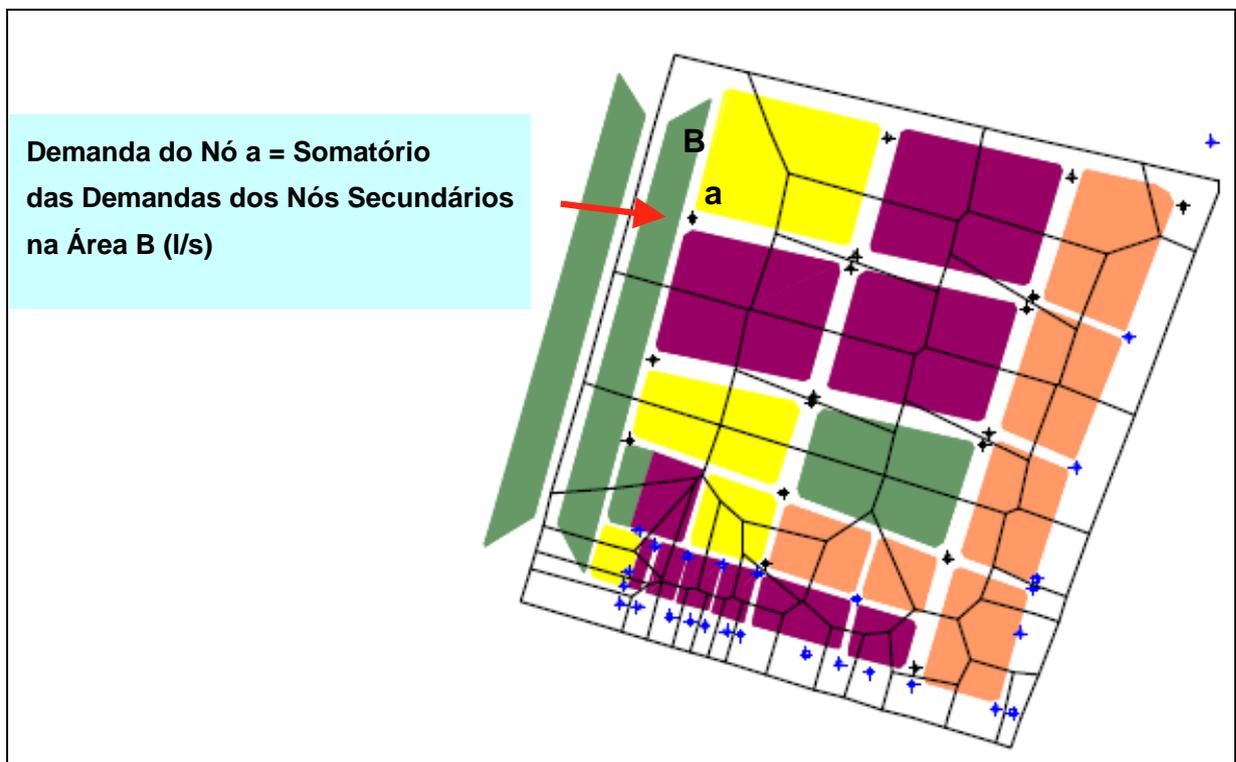


Figura 6 – Áreas de Influência de Nós

Fonte adaptada: MARTÍNEZ-SOLANO et. al. (2002).

A partir do conhecimento de cada uma das demandas requeridas pelos nós secundários, tem-se pela somatória destes, a demanda total para cada nó principal da rede, e a sua respectiva área de influência.

## 2.6 APLICAÇÕES DE SIG EM COMPANHIAS DE SANEMAMENTO

O gerenciamento de uma Companhia de saneamento, ou ainda de uma Companhia da área de infra-estrutura, está intimamente ligado a uma eficiente gestão operacional de suas redes (GREGÓRIO, 2001).

Para que o gerenciamento seja efetivo, há a necessidade da manipulação de um grande volume de dados, que em sua maioria possui a componente espacial, ou seja, uma posição espacial definida por um sistema de referência. Os dados de interesse são referentes à infra-estrutura implantada, uso e ocupação do solo e caracterização dos consumidores.

As mudanças do papel do Estado, e as atuais tendências de privatização e competição no setor público, estão levando as concessionárias desses serviços a buscarem também novas competências tecnológicas.

Neste contexto, os SIG trouxeram uma nova perspectiva para as aplicações ligadas à gestão de cidades. O administrador urbano passa a ter uma visão geral de sua área de atuação, podendo visualizar uma área de interesse e realizar simulações e formular proposições a partir da integração e sobreposição de dados de diversas fontes, orientando a tomada de decisões e o planejamento, auxiliando na avaliação da eficácia das ações de intervenção.

De acordo com GOODCHILD (1993), a utilização e manutenção dos sistemas aplicativos técnico-operacionais desenvolvidos para empresas de suprimento de água tratada envolvem inovações tecnológicas e de gestão nas várias etapas do seu processo operacional, por exemplo:

- Criação e operação das redes de adução e distribuição de água;
- criação e operação das redes de coleta de esgoto;
- monitoramento e cadastramento de ligações domiciliares para medição de consumo;

- planejamento e projeto de novas redes; e
- cadastramento e manutenção do patrimônio imobiliário.

FRANCO (2000) ressalta que o desenvolvimento dos computadores, dos sistemas gerenciadores de bases de dados, dos sistemas EIS - *Executive Information System*, dos modelos de cálculo hidráulico, dos sistemas SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition System* e dos SIG, além de toda a modernização tecnológica associada ao setor, tem influenciado, de forma decisiva, no fato de empresas de saneamento estarem modelando seu sistemas para gerenciá-los adequadamente à luz destes recursos.

A demanda pela modernização tanto da gestão administrativa como da gestão técnico-operacional das empresas, fez com que o uso das Tecnologias da Geoinformação se tornasse uma necessidade, trazendo desde melhorias nas relações com o cliente, menores custos de produção, distribuição e manutenção, otimização no planejamento, e a melhoria da qualidade do produto final – a água tratada, (FRANCO, 2000).

Um modelo do sistema é fundamental para que se possa modernizar a gestão da empresa. A intuição e a experiência das equipes encarregadas do serviço são necessárias, mas não são suficientes. É necessário ter metodologias adequadas que permitam não apenas realizar análises qualitativas sobre as repercussões das medidas tomadas e dos planos de ação adotados, mas também quantitativas.

### **3. CADASTRO EM COMPANHIAS DE SANEMANENTO**

De acordo com COELHO (2004), a maioria das Companhias de saneamento no Brasil opera com dois cadastros: o cadastro técnico, que contém as informações necessárias à manutenção dos sistemas de água e esgotamento sanitário, e o cadastro comercial, responsável pelas informações relativas aos consumidores.

#### **3.1 CADASTRO COMERCIAL**

Segundo FRANCO (2000), o cadastro comercial de uma Companhia de saneamento têm como missão executar a gestão das atividades que se relacionam com a parte comercial das ligações de água e de esgotos dos clientes.

Uma das principais tarefas deste setor é definir e manter o cadastro dos consumidores o mais atualizado possível de maneira que este seja eficiente na realização de tarefas como: leitura do consumo do cliente em campo, faturamento, arrecadação, minimização da ocorrência de fraudes ou de ligações clandestinas, determinação correta da categoria de uso do cliente (industrial, comercial e entidade pública ou residencial) e da sua capacidade de consumo, além de prover informações corretas ao cliente (FRANCO, 2000).

COELHO (2004) afirma que, este cadastro é constituído de um conjunto de registros e procedimentos que permitem a identificação, a localização e a qualificação dos consumidores, sendo de suma importância para a gestão da receita da empresa e para o conhecimento de mercado. O cadastro comercial é composto de uma base cartográfica e um banco de dados, onde são processadas as informações sobre emissão das contas, aviso de débitos, dentre outras.

O acompanhamento das leituras em campo é feito através da produção e da manutenção dos *overlays*, que são croquis em papel contendo um esboço das quadras com a posição espacial das ligações, além de informações cadastrais das mesmas, lançadas manualmente. Em seguida, as informações alfanuméricas destes

croquis são introduzidas no sistema comercial, sendo a base para a produção de listagens e relatórios sobre as ligações (GREGÓRIO, 2000).

A geocodificação dos lotes é feita através do número de inscrição cadastral, que representa a localização no mapa do imóvel, a partir de uma seqüência numérica que identifica o local (cidade), setor, quadra e lote, onde o ponto de origem da quadra é definido pela esquina mais sudeste, segundo COELHO (2004). A codificação dos lotes deverá ser definida como a distância tomada no sentido horário da origem da quadra até o meio da testada do lote, como mostra a Figura 7.

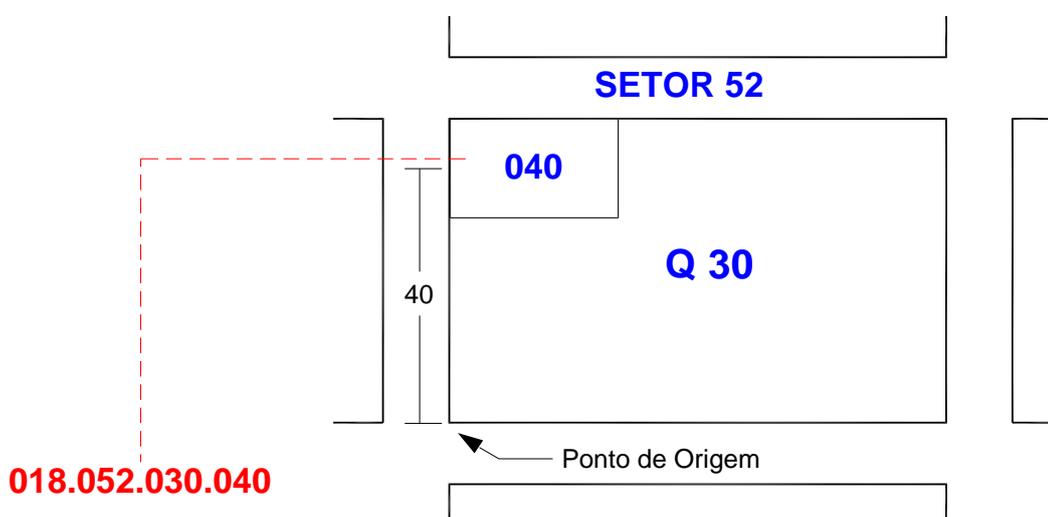


Figura 7 – Exemplo de Geocodificação dos Consumidores

O exemplo mostrado na Figura 7 considera o número de inscrição cadastral 018.052.030.040, onde:

- 018 – código da cidade onde o lote está localizado;
- 052 – código do setor da cidade;
- 030 – código da quadra do setor 52;
- 040 – Distância em que o meio da testada do lote se localiza na quadra 30, a partir de um referencial zero.

### 3.2 CADASTRO TÉCNICO

O cadastro técnico responde as ações que permitem registrar e manter atualizadas informações técnicas sobre os diversos componentes dos sistemas de água e esgoto, que objetivam dotar o órgão de saneamento de informações que contribuam para o planejamento de execução das tarefas da operação e a manutenção dos sistemas de abastecimento de água e o esgotamento sanitário (BRASIL, 2001).

Pode-se citar alguns elementos que fazem parte deste cadastro tais como: rede de distribuição de água, rede de esgotamento sanitário, adutoras (caminhamentos, tubos e conexões) distritos operacionais com limites e demarcações de áreas, curva de nível, toponímia, cotas de amarração, cotas de profundidade das tubulações, urbanização, dentre outros.

A Figura 8 ilustra um dos mapas utilizados pela Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, no gerenciamento dos elementos constituintes do seu cadastro técnico.

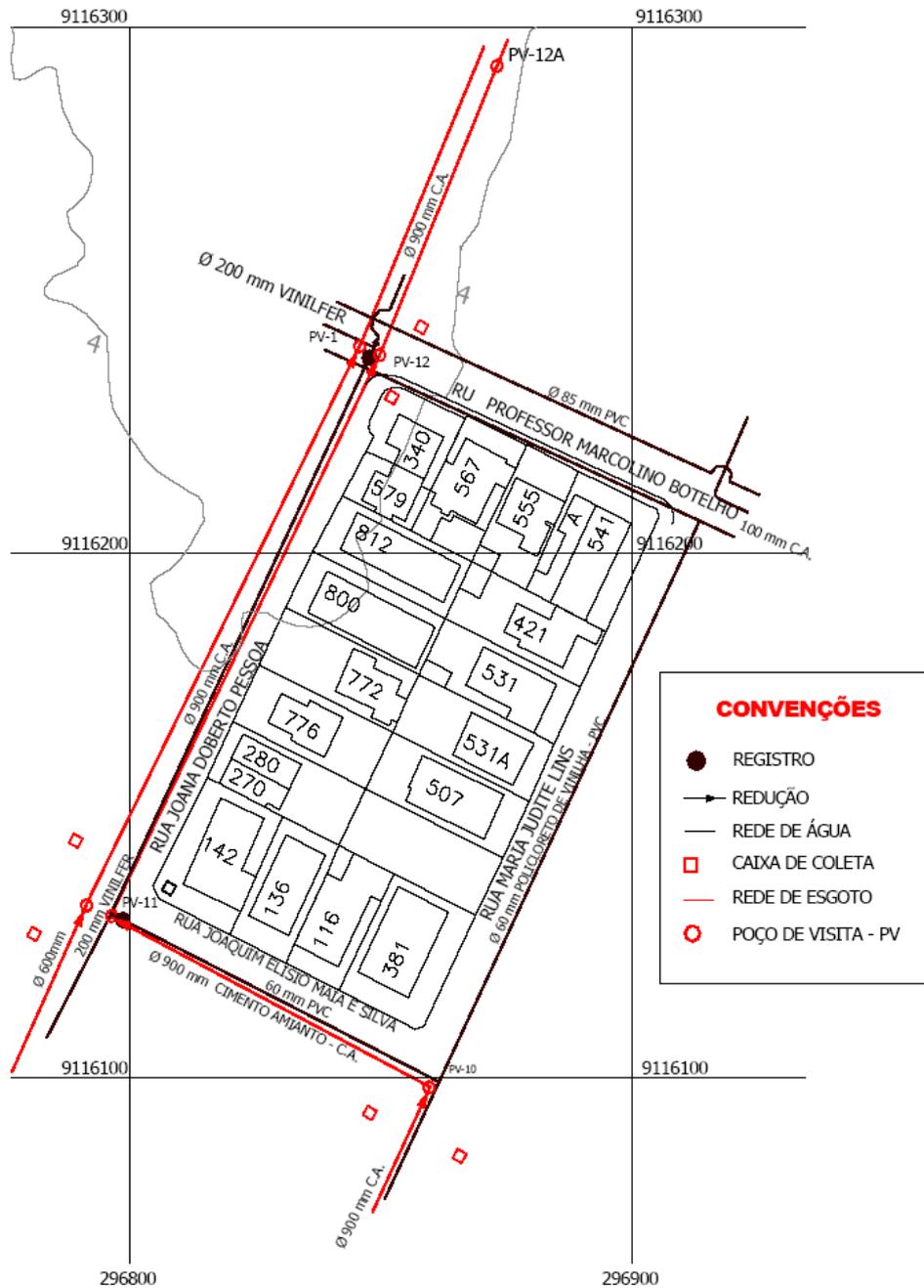


Figura 8 – Mapa utilizado pelo cadastro técnico da COMPESA

Fonte: COELHO (2004)

### 3. 2.1 – Sistemas de Abastecimento de Água

GOMES (2002) define um sistema de abastecimento de água como o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público. O sistema é

composto de maneira geral, pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, redes de distribuição e ligações prediais.

A rede de distribuição é formada pelo conjunto de tubulações, conexões e peças especiais, destinadas a conduzir água em quantidade, qualidade e pressão suficientes para o abastecimento dos diversos pontos de consumo e uso.

De acordo com PORTO (1998) e DACACH (1975), a concepção geométrica do sistema de reservatórios e tubulações, depende do porte da cidade a ser abastecida, bem como de características viárias e topográficas. Qualquer que seja o traçado da rede, esta é constituída por condutos que são classificados como principais e secundários. Os condutos principais são os alimentados diretamente pelo reservatório de montante ou por adutora, possuindo maior diâmetro tendo como finalidade abastecer os condutos secundários, que por sua vez, têm a função de abastecer diretamente os pontos de consumo.

As redes podem ser classificadas pelo seu traçado e sentido de escoamento como rede ramificada e rede malhada. As redes ramificadas são projetadas normalmente para pequenas cidades, comunidades de desenvolvimento linear, ou áreas de pouca largura urbana, sendo caracterizadas por um conduto principal, da qual partem redes secundárias transversais. A água se desloca invariavelmente em um único sentido. As redes malhadas são constituídas de condutos principais que formam anéis ou malhas, nos quais há possibilidade de reversibilidade no sentido das vazões, em função das solicitações de consumo. Essa característica é vantajosa, pois permite que um trecho da rede possa ser reparado sem prejudicar o abastecimento de um número maior de edificações (PORTO, 1998).

O monitoramento do desempenho hidráulico (controle de pressões e vazões) das redes de distribuição de água tratada é um dos meios ideais para que as áreas de operação das Companhias de saneamento possam atuar eficazmente na gestão das mesmas. Deve-se observar que, as altas pressões podem ser responsáveis por danos às tubulações, tendo como consequência o aumento dos vazamentos. Enquanto que, as baixas pressões podem permitir a presença de ar nas tubulações,

causando problemas, como infiltrações, que afetam a qualidade da água e alteram as medições de hidrômetros.

Em função do porte do problema, o sistema de distribuição torna-se bastante complexo, não só quanto ao dimensionamento, mas também à operação e à manutenção. Trata-se em geral, da parte mais dispendiosa de um projeto de abastecimento de água.

#### 4. MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS – MDE

A Modelagem dos Dados Espaciais é o processo onde a estrutura fundamental de domínio da aplicação é abstraída e capturada, ou seja, somente os elementos essenciais da realidade são enfatizados, descartando-se os não essenciais. Este processo ilustrado pela Figura 9 é constituído de três fases: abstração do mundo real, definição do modelo conceitual e elaboração do modelo físico (SÁ, 2001).

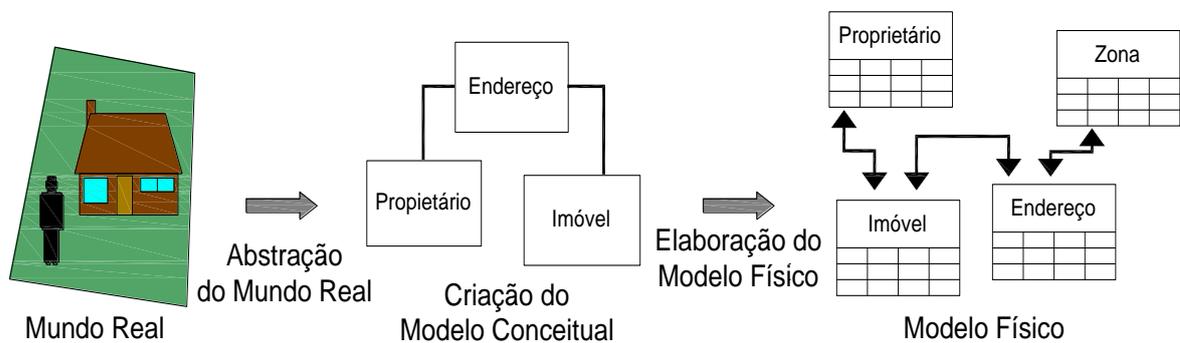


Figura 9 – Etapas da Modelagem de Dados Espaciais

A abstração do mundo real é o estudo do comportamento da aplicação. Esta etapa nos permite selecionar grupos comuns, encontrar generalidades e construir modelos. A abstração deve estar associada a um propósito. Desta forma, pode-se ter várias abstrações de um mesmo problema para diferentes propósitos. A construção de modelos pela abstração possui o caráter de simplificação da realidade a ser representada (RUMBAUGH et al, 1994).

Na criação do modelo conceitual é feito uma descrição do conteúdo dos dados, cada uma das entidades capturadas na etapa de abstração pode ser visualizada em diferentes níveis de complexidade através de diagramas, de acordo com a necessidade de compreensão e representação dos elementos de interesse do SIG, O modelo físico é a transcrição do modelo conceitual para uma linguagem que o computador compreenda (SÁ e SILVA, 2000).

Segundo WORBOYS (1994), CROSBIE (1993) e EGENHOFER (1995), os SIG podem ser implementados usando Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados – SGBD, Relacionais, Relacionais Estendidos ou Orientados a Objetos.

De acordo com BORGES (1997), o paradigma de Orientação a Objetos oferece um ambiente mais propício para o SIG devido, principalmente, à possibilidade de representar as entidades do mundo real diretamente no modelo conceitual, fornecendo mecanismos de abstração capazes de modelar situações complexas como os objetos geométricos, os quais podem ser alterados num período de tempo. Os conceitos de herança, reutilização e característica de extensibilidade são destacados por BOOCH (1998). Comparado com os modelos de dados convencionais (Relacional, Rede e Hierárquico), um modelo Orientado a Objetos é mais flexível e adequado para descrever estruturas de dados complexas de uma maneira coerente e uniforme.

Neste contexto, os modelos conceituais têm sido adaptados para atender às necessidades impostas pelas aplicações de SIG, desde o final dos anos 80, baseando-se em formalismos que possuem notação específica para os dados Espaciais. Já que os modelos convencionais, como por exemplo, o Entidade-Relacionamento (CHEN, 1976) que apesar da sua grande expressividade, apresenta limitações para adequar-se a MDE, já que não possuem primitivas apropriadas para a representação de dados espaciais. (HADZILACOS, 1996; BORGES, 1997).

Existem diversas linguagens para especificação de diagramas segundo o formalismo da Orientação a Objetos. Entre as mais conhecidas pode-se citar OOA (COAD, 1991), a OMT (RUMBAUGH, 1994) e a UML – *Unified Modeling Language*, sendo esta última a junção das três mais conceituadas, a BOOCH, OOSE e a OMT (BOOCH, 1998).

A eficácia da linguagem UML é reforçada pelo surgimento de programas CASE – *Computer Aided Software Engineering*, ou Engenharia de Software Auxiliada por Computador. Estes programas contribuem para diminuir o tempo gasto na criação do modelo conceitual e na implementação do modelo físico, já que é possível exportar o modelo conceitual criado para um formato que o SGBD

Orientado a Objetos, entenda e gere automaticamente o modelo físico (LISBOA, 2002).

#### 4.1 DIAGRAMA DE CLASSE

De acordo com FURLAN (1998), o diagrama de classe é uma estrutura lógica estática em uma superfície de duas dimensões mostrando uma coleção de elementos declarativos de modelo, como classes, tipos e seus respectivos conteúdos e relações.

Na análise orientada a objetos, um fenômeno de interesse da aplicação é representado como um objeto, o qual possui uma estrutura capaz de armazenar suas características (atributos) e um comportamento, descrito pelo conjunto de operações que podem ser realizadas. Os objetos semelhantes são modelados através da definição de uma classe, a qual especifica um conjunto de atributos que descrevem a estrutura e um conjunto de métodos (ou operações) que definem o comportamento dos objetos definidos pela classe (LISBOA, 2001).

Uma classe é representada por uma caixa retangular com três compartimentos: um com o nome da classe, o outro com a lista de atributos e o último com a lista de operações. Um objeto pertencente a uma classe é chamado de instância de classe (BOOCH, 1998).

Segundo LARMAN (2000), as associações representam relacionamentos estruturados entre objetos de diferentes classes e são representados graficamente através de uma linha conectando-as. A cardinalidade de uma associação especifica a quantidade de instâncias de uma classe que se relacionam com a de outra através de intervalos (Figura 10).

A generalização é o processo onde se define classes gerais (superclasses) a partir de classes com características semelhantes (subclasses), onde os atributos métodos e associações da superclasse são herdados para as subclasses. Uma

generalização é representada graficamente por uma linha com um triângulo que liga a classe mais específica a mais genérica (BOOCH, 1998).

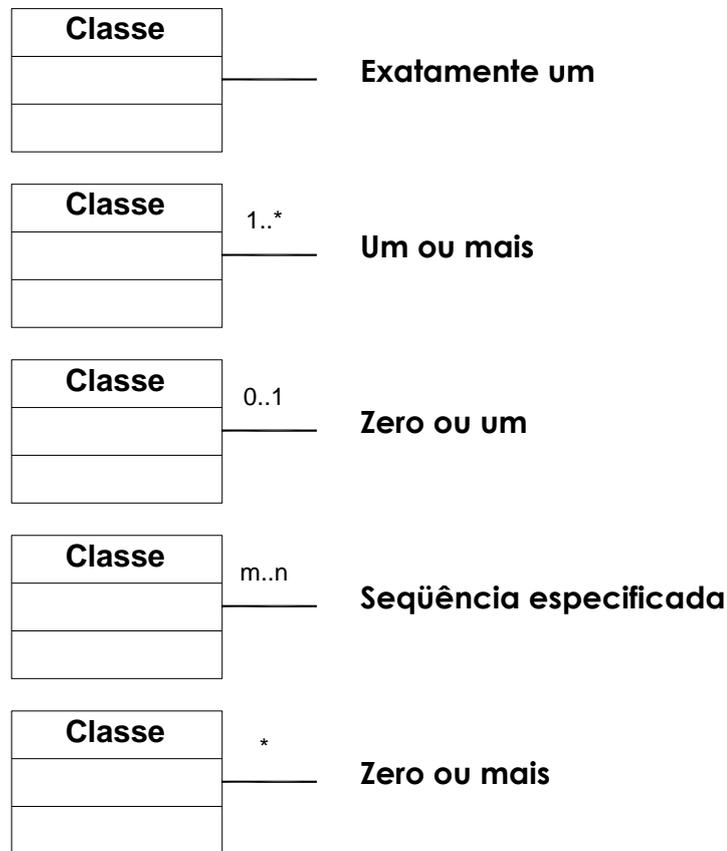


Figura 10 – Cardinalidade

A agregação é uma forma especial de associação que representa o relacionamento todo-parte entre as classes. Ela é representada por um losango na extremidade da classe agregada, conectada a uma linha e esta por sua vez a classe componente (SILVA, 2001).

A composição é tipo especial de agregação na qual a existência do objeto composto, o todo, depende da existência dos objetos componentes e suas partes. A diferença entre a representação gráfica da composição para a agregação se dá pela cor escura do losango em uma das extremidades da associação (LARMAN, 2000). A Figura 11 ilustra os principais componentes em um diagrama de classe.

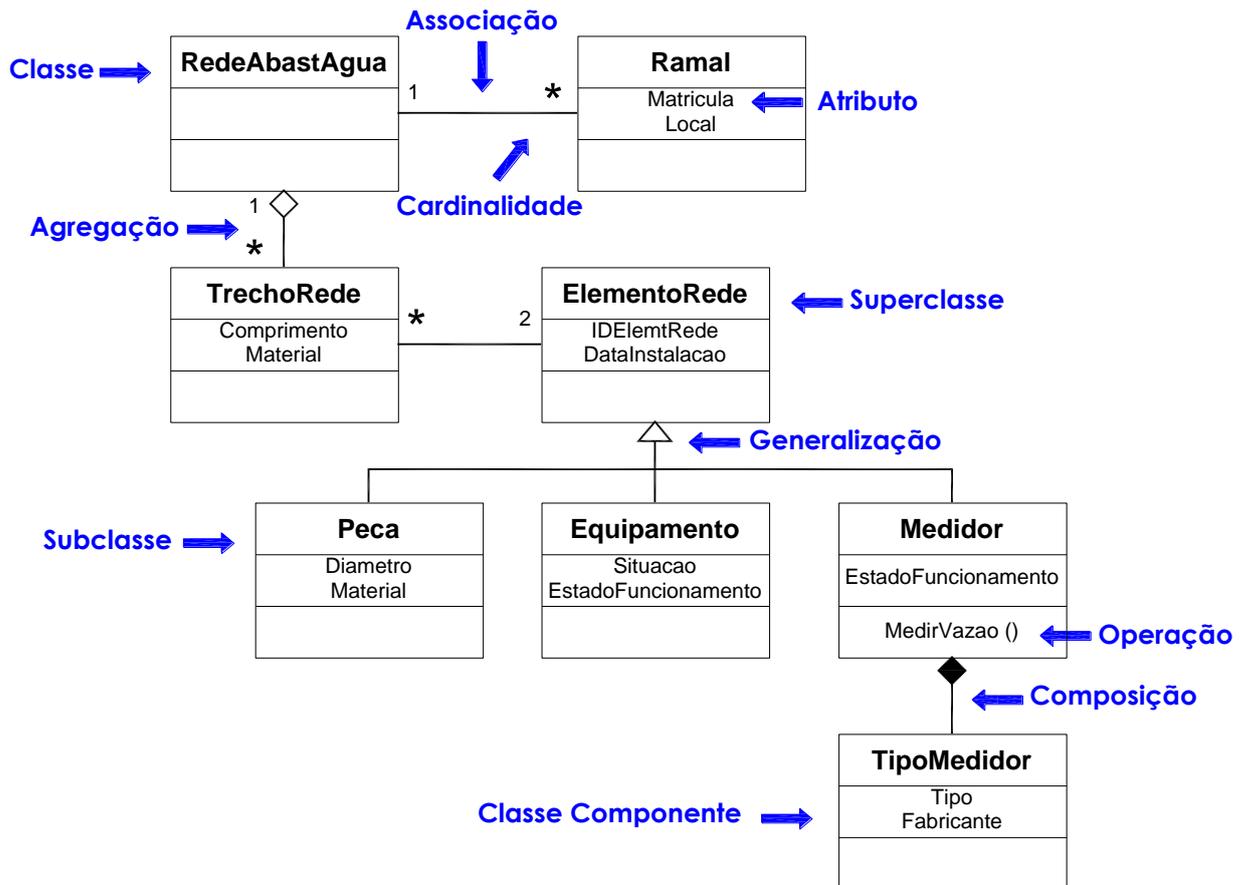


Figura 11 – Diagrama de Classe

Além destes elementos, existem mais três utilizados na criação do diagrama de classe, são eles: nota, pacote e estereótipo.

Uma nota é um comentário colocado em um diagrama sem qualquer conteúdo semântico, que pode ser anexado a um ou mais elementos de modelagem através de linhas tracejadas (FURLAN, 1998).

O pacote é usado para organizar as classes em temas (SILVA, 2001), por exemplo, os elementos do diagrama descrito anteriormente poderiam ser agrupados no pacote "CadastroTecnico", já que todas as classes deste diagrama referem-se a este tema da aplicação. No nível conceitual, um tema agrega classes de mesmas características, no entanto, uma mesma classe pode ter característica comum com outros temas (BORGES, 1997).

O estereótipo é um mecanismo de extensão da linguagem UML que permite ao projetista definir novos construtores e utilizá-los na elaboração de diagramas UML (PINET e LBATH, 2001).

Os estereótipos podem ser estendidos pelo projetista da aplicação e podem ser empregados como qualquer outro elemento da linguagem. Como exemplo, LISBOA (2001), desenvolveu o modelo conceitual UML - GeoFrame a partir da utilização de estereótipos, onde os fenômenos geográficos são diferenciados dos convencionais a partir da inclusão de pequenos símbolos gráficos, denominados pictogramas, nas classes que descrevem os fenômenos geográficos (Figura 12). A ausência de um pictograma significa que a classe modela um objeto convencional (Figura 13).

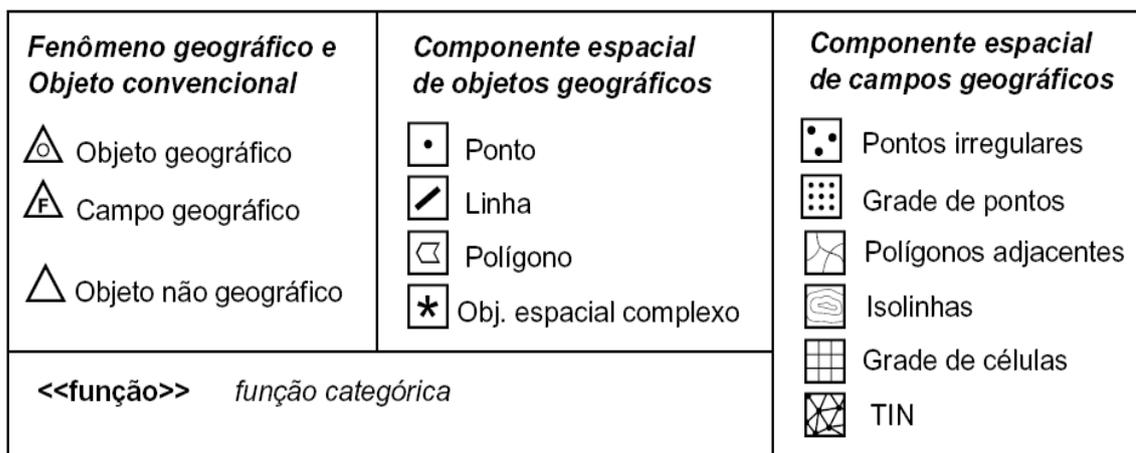


Figura 12 – Estereótipos do modelo UML - GeoFrame

Fonte: LISBOA (2001)

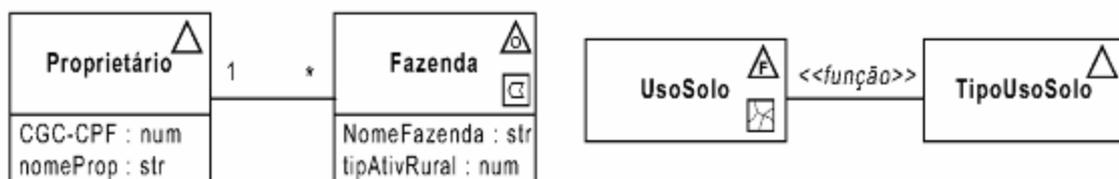


Figura 13 – Diferenciando objetos geográficos dos convencionais

Fonte: adaptado de LISBOA (2001)

## **4.2 CASE (COMPUTER AIDED SOFTWARE ENGINEERING)**

Uma vez concluído o modelo conceitual, o próximo passo consiste na transformação do mesmo em um esquema de dados compatível com o SIG e do SGBD que serão utilizados. A etapa de transformação do modelo conceitual em modelo físico e sua implantação pode ser feita de forma automática por um programa CASE (*Computer Aided Software Engineering*).

Um programa CASE é um instrumento para modelagem visual, que permite ao projetista criar, analisar, projetar, modificar e manipular seus componentes. Entende-se, neste caso, por modelagem visual, o processo de mapeamento do mundo real para um sistema de representação gráfica, através da utilização dos diagramas disponíveis nessa ferramenta (RATIONAL, 2000).

BHERING (2002) destaca que, a utilização dos CASE auxiliam os profissionais na tarefa de modelagem e geração dos modelos conceituais, e na tradução destes esquemas em seus respectivos modelos físicos, facilitando o trabalho dos projetistas e administradores de dados de SIG, principalmente considerando que a maioria não é necessariamente um especialista da área de computação. Outra vantagem é a possibilidade de representação do esquema de dados de forma clara e de fácil entendimento.

Entre os principais programas CASE utilizados na MDE, podem ser citados:

- Microsoft Visio – o Visio é um programa gráfico para suporte à criação de diversos tipos de diagramas, incluindo todos os diagramas da linguagem UML, possui um ambiente de programação acoplado à linguagem *Visual Basic for Application* (VBA), o que possibilita a implementação de rotinas que podem ser associadas aos elementos gráficos. O Visio foi escolhido nesta pesquisa para a criação do modelo conceitual e implementação do modelo físico, no SGBD Microsoft Access, na forma de *Geodatabase*, que é o modelo de Banco de Dados Espaciais utilizado pelo SIG ArcGIS (Figura 14).

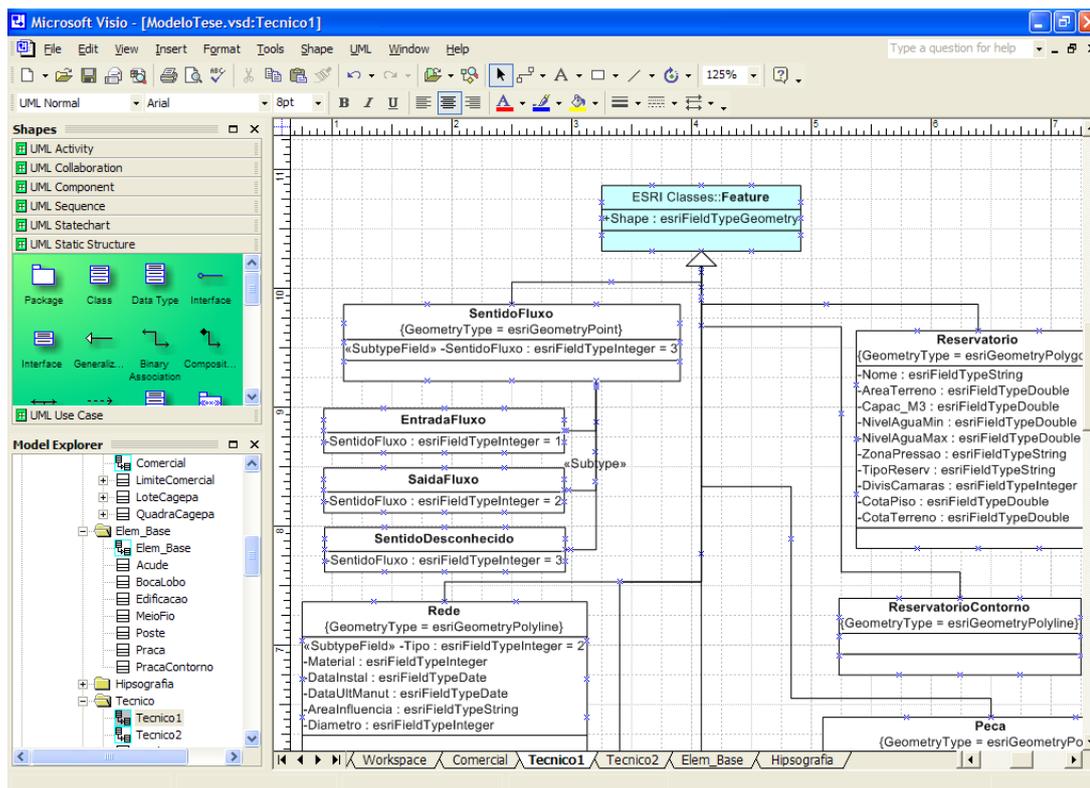


Figura 14 – Interface do Microsoft Visio

- REGIS – aplicativo CASE que possui como base o modelo GeoOOA (KÖSTERS, 1997), adaptado para a representação gráfica da linguagem UML, gera automaticamente esquemas para o programa SIG Smallworld.
- CASEGEO – implementado no Microsoft Visio, este aplicativo foi desenvolvido pelo Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa - Minas Gerais, cujo objetivo é dar suporte à modelagem de Banco de dados Geográfico com base no modelo UML-GeoFrame e na reutilização de padrões de análise (LISBOA, 2002).
- Perceptory – desenvolvido pela Universidade de Laval - Canadá, este aplicativo tem como objetivo modelar dados espaciais e temporais. Sua base é formada por um conjunto de conceitos e construtores gráficos, denominados PVLs (*Plug-ins for Visual Language*). O Perceptory utiliza-se da linguagem UML e requer a utilização do programa Microsoft Visio (BEDARD, 2004). A Figura 15 representa a interface deste aplicativo.

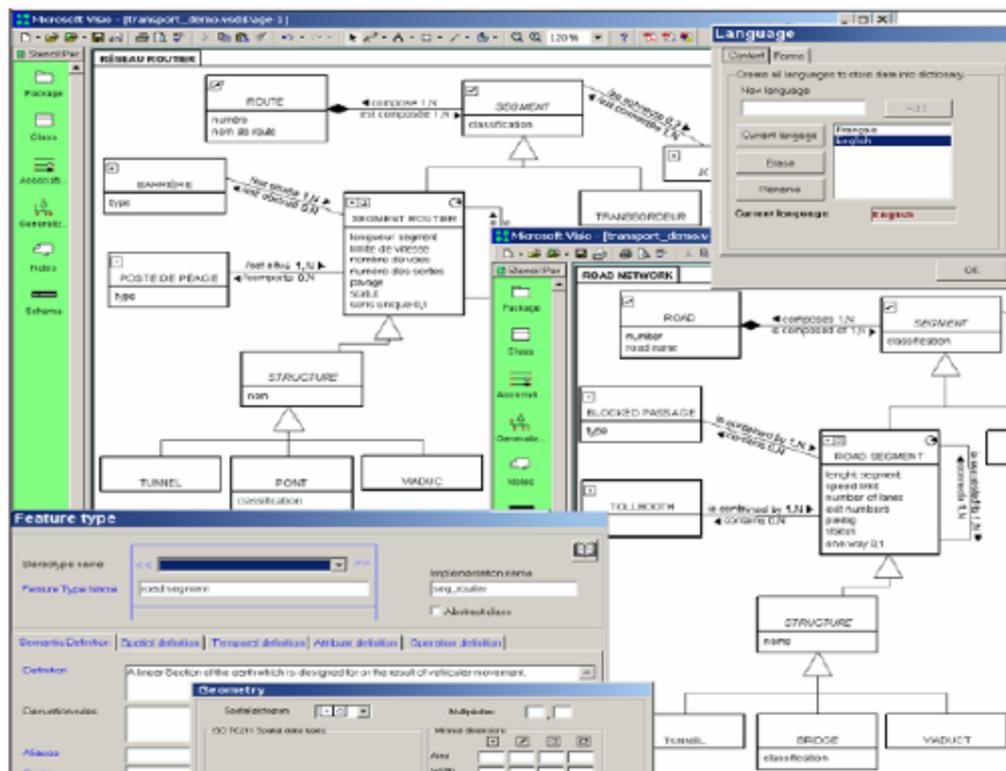


Figura 15 - Interface do CASE Perceptory  
Fonte: BEDARD (2004)

## **5. METOLOGIA DA PESQUISA**

Como apontado na introdução, é objetivo deste trabalho contribuir para o estabelecimento de uma metodologia para o desenvolvimento de um aplicativo SIG, como suporte ao gerenciamento das redes de distribuição de água, utilizando a Modelagem de Dados Espaciais – MDE, como base para o desenvolvimento do aplicativo.

Considera-se como objetivo derivado, com a aplicação da metodologia proposta, a obtenção de dados e parâmetros relevantes, tanto para orientar os investimentos, como para controlar a eficiência dos serviços em empresas de saneamento. Dentro desse contexto, destacam-se aqueles relativos às atividades operacionais e comerciais.

### **5.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **5.1.1 – Caracterização do Problema**

Esta etapa teve como objetivo compreender de forma ampla e detalhada as atividades relacionadas à Companhia de saneamento no tocante as atividades operacionais em redes de distribuição de água, bem como avaliar o modelo de gestão atual (parâmetros e critérios utilizados), frente às reais necessidades de informação e de disponibilidade de dados.

A partir da identificação destas necessidades, tornou-se possível propor um novo modelo de dados e de inter-relacionamentos que, apenas à luz dos recursos da análise tabular não seria possível, ou seria de implementação muito difícil. O resultado desta vivência permitiu concentrar os conhecimentos adquiridos na abstração do mundo real e na elaboração do modelo conceitual através da seleção das entidades e fenômenos de interesse para a aplicação.

### **5.1.2 – Coleta de Dados**

A coleta de dados foi feita através de plantas e projetos em meio digital e analógico, visitas em campo, para a verificação das válvulas que compõem a rede de distribuição, dados sobre localização de vazamentos nas redes, boletins de controle operacional, com dados sobre os volumes macro-produzidos, dados do cadastro comercial, com informações sobre os clientes e informações sobre a execução de reparos na rede.

### **5.1.3 – Implementação do Sistema Aplicativo**

Na implementação do sistema foram executadas as seguintes etapas:

- Edição da Base Cartográfica;
- Criação da Banco de Dados Espaciais - BDE;
- Conversão dos dados para o BDE;
- Tratamento dos dados espaciais.

#### **5.1.3.1 – Edição da Base Cartográfica**

Na edição da base cartográfica foram identificados inconsistências no arquivo .DWG do AutoCAD cedido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, tais como: polígonos abertos, arcos e nós duplicados, e entidades semelhantes em níveis de informação diferentes.

Desta forma, foi necessária a realização de uma edição preliminar na base cartográfica, com intuito de diminuir a quantidade de inconsistências. Foram corrigidos os polígonos abertos e eliminados os nós duplicados que representavam as singularidades da rede (peças, válvulas, medidores, entre outros), além da organização das feições em seus temas correspondentes.

As falhas que não foram corrigidas nesta edição preliminar, mais tarde seriam todas eliminadas com os recursos de edição e limpeza topológica do ArcGIS.

Através desta metodologia ganhou-se uma considerável parcela de tempo nesta etapa.

### 5.1.3.2 – Criação do Banco de Dados Espaciais

Após a finalização do modelo conceitual, o mesmo foi exportado para o formato .XML – *Metadata Interchange*, com dois objetivos: verificar a existência de erros na semântica do modelo e exportá-lo para o Sistema Gerenciador de Banco de Dados Espaciais (Figura 16).

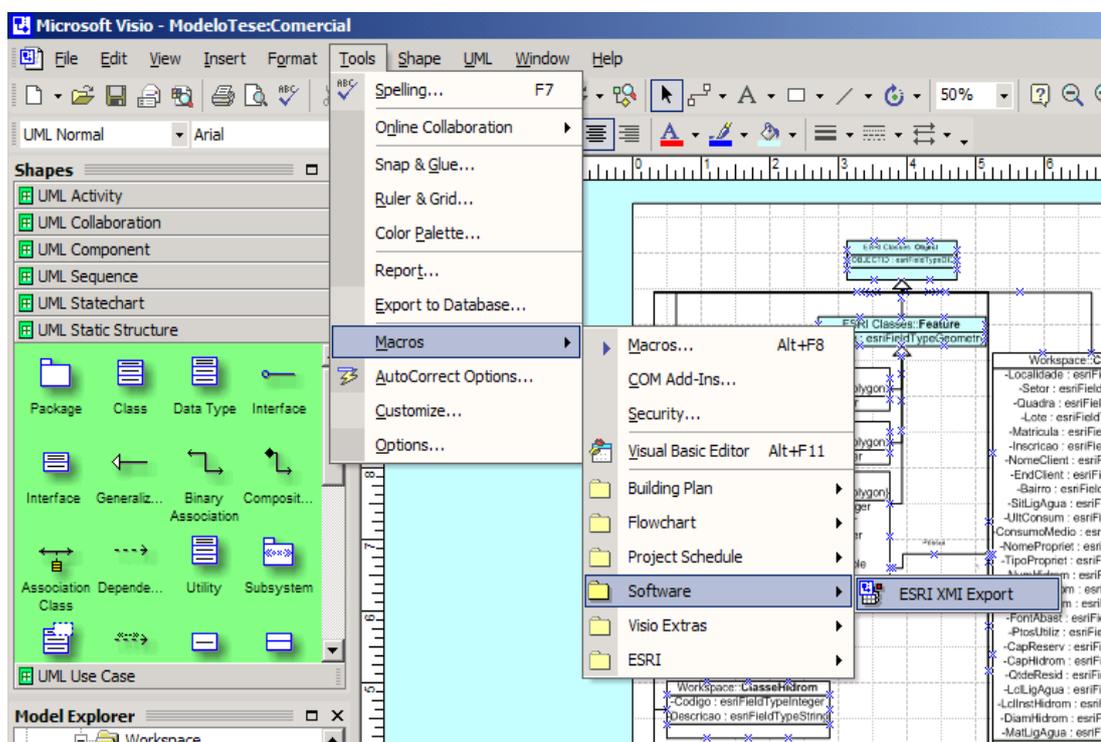


Figura 16 – Exportação do Modelo conceitual para o formato .XML

A checagem da semântica foi feita no programa CASE Microsoft Visio através do comando “*Semantics Checker*”, com a finalidade de encontrar inconsistências no modelo criado, dentro do formalismo da linguagem UML. Observado a não existência de erros, o próximo passo foi exportá-lo para o aplicativo ArcCatalog, que é um dos módulos do programa ArcGIS da ESRI. A partir da leitura do arquivo .XML (Figura 17) o ArcCatalog gera automaticamente o Banco de Dados Espaciais, em função do modelo conceitual desenvolvido (Figura 18).

```

1 - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value></Foundation.Extension_Mechanisms
</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue>
</Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
<Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue xmi.id = "UIDB786704B-3993-4099-979D-69
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag>documentation</Foundation.Extension
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value></Foundation.Extension_Mechanisms
</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue>
</Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
</Foundation.Core.Attribute>
<Foundation.Core.Attribute xmi.id = "UID70C90768-9115-4AC3-8C95-4C4602627DB1">
<Foundation.Core.ModelElement.name>Diametro</Foundation.Core.ModelElement.name>
<Foundation.Core.ModelElement.visibility xmi.value="private"/>
<Foundation.Core.Feature.ownerScope xmi.value="instância"/>
<Foundation.Core.StructuralFeature.multiplicity>1</Foundation.Core.StructuralFeature
<Foundation.Core.StructuralFeature.changeable xmi.value="nenhum"/>
<Foundation.Core.StructuralFeature.targetScope xmi.value="instância"/>
<Foundation.Core.Attribute.initialValue>
<Foundation.Data_Types.Expression>
<Foundation.Data_Types.Expression.language/>
<Foundation.Data_Types.Expression.body></Foundation.Data_Types.Expression.body>
</Foundation.Data_Types.Expression>
</Foundation.Core.Attribute.initialValue>
<Foundation.Core.StructuralFeature.type>
<Foundation.Core.DataType xmi.idref="UID342DA075-D1BE-11D2-9F2E-00C04F6BDF1A"/>
</Foundation.Core.StructuralFeature.type>
<Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue xmi.id = "UID7074FC6A-E619-4AF7-AFDC-E4
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag>persistence</Foundation.Extension_M
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value></Foundation.Extension_Mechanisms
</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue>
</Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
<Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue xmi.id = "UID30FC3517-100B-41F3-B6E8-80
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag>documentation</Foundation.Extension

```

Figura 17 – Modelo conceitual no formato .XMI

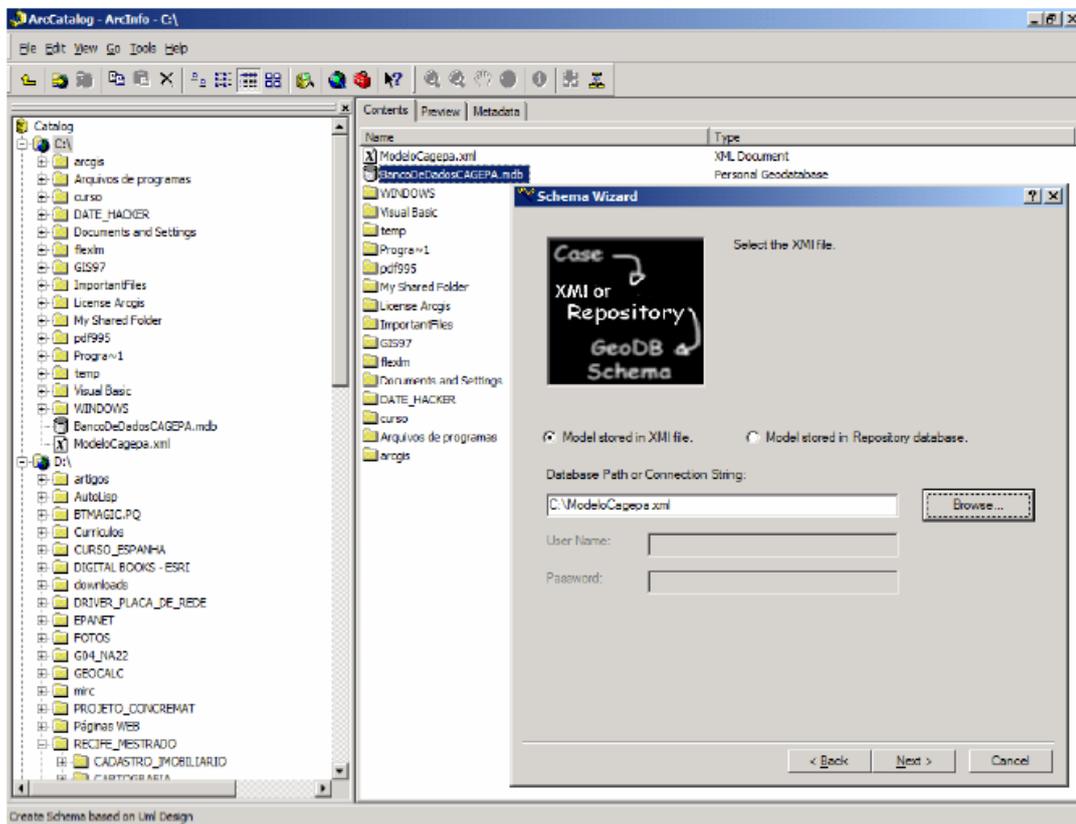


Figura 18 – Criação do Banco de Dados Espaciais a partir do arquivo .XMI

### 5.1.3.3 – Conversão dos dados para o Banco de Dados Espaciais

Nesta etapa foram exportados o arquivo CAD da base cartográfica, contendo todos os dados gráficos, incluindo os elementos do sistema de distribuição de água, da área de validação do modelo e os dados descritivos, em formato .MDB, contendo os dados descritivos sobre os clientes da Companhia.

As classes criadas no modelo físico foram recebendo os seus respectivos objetos ou instâncias de classes. Também foram criadas as regras topológicas do sistema, o que possibilitou a detecção de erros na base cartográfica importada para o BDE (Figura 19).

Na conversão das redes de distribuição para o SIG a partir dos arquivos gráficos existentes, os atributos dos trechos de rede e demais equipamentos, medidores e peças cadastradas foram importados. Todas as adaptações descritas e modificações necessárias à conversão, foram executadas na própria Companhia.

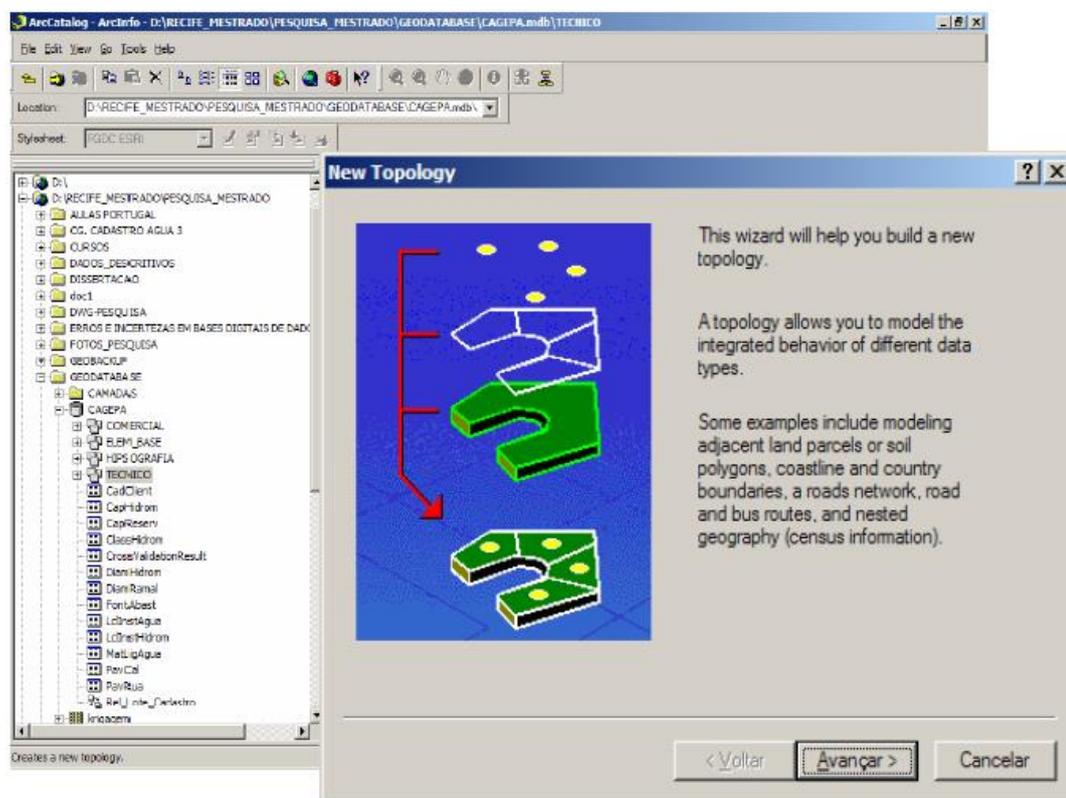


Figura 19 – Criação das regras topológicas

### 5.1.3.4 – Tratamento dos Dados Espaciais

Nesta fase foram identificadas várias inconsistências geométricas, tais como: polígonos duplicados, arcos em auto-interseção e desconexão entre arcos e nós. Estes erros, caso não fossem eliminados, provocariam a descontinuidade de fluxo, no momento das análises de rede. A Figura 20, mostra as entidades (em vermelho) com problemas dentro do Aplicativo ArcMap da ESRI. Todas as entidades que apresentavam problemas foram corrigidas, com o objetivo de garantir a integridade dos dados e também, a consistência topológica do sistema.

O próximo passo foi geocodificar os consumidores utilizando o número de inscrição cadastral (informação constante no arquivo alfanumérico), que representa a localização no mapa do imóvel, a partir de uma seqüência numérica que identifica o local, setor, quadra e o lote. Os consumidores, pontualmente representados, foram conectados aos ramais e estes, às redes de distribuição de água formando a topologia arco-nó.

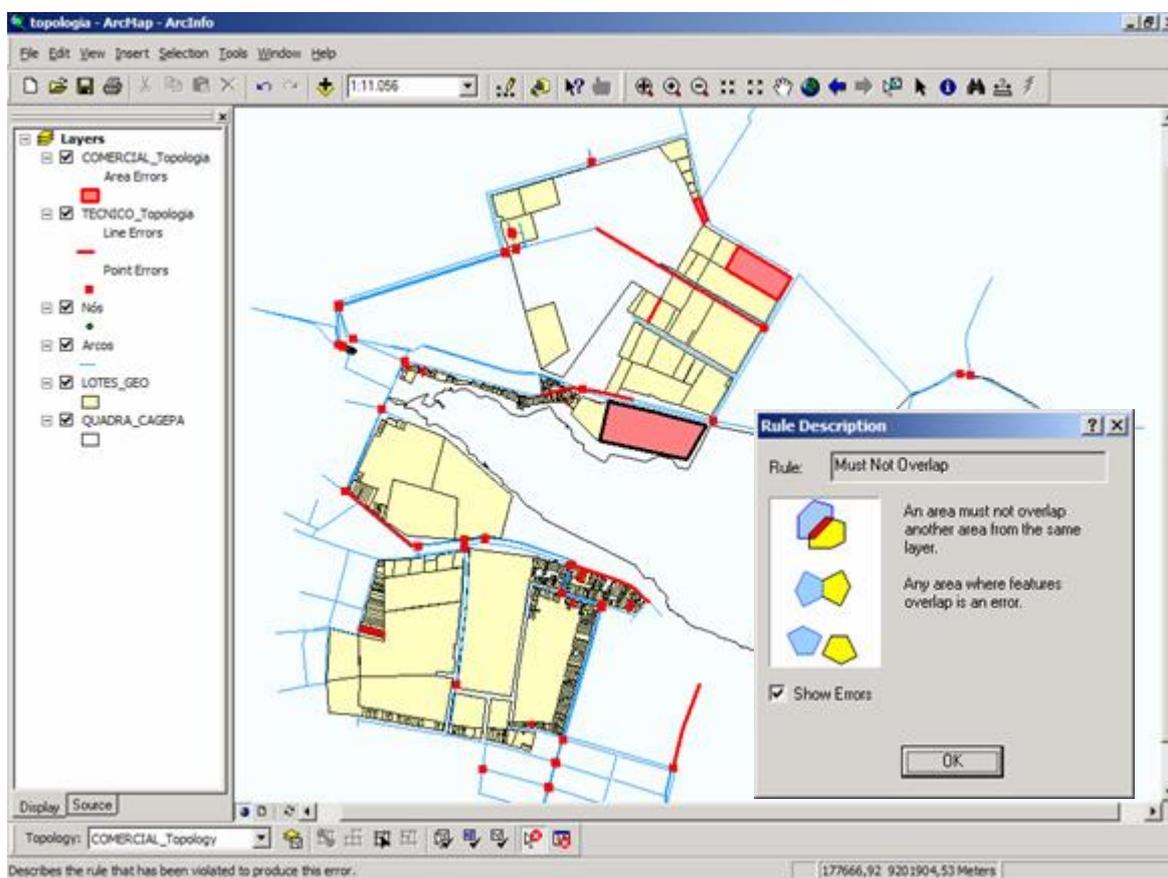


Figura 20 – Identificação e correção das entidades gráficas

## **5.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS**

Os recursos utilizados durante a implementação do projeto piloto foram disponibilizados pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, e pelo Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart/UFPE, sendo listados a seguir:

### **5.2.1 – Equipamentos Computacionais**

Os equipamentos computacionais utilizados foram: um microcomputador, com a seguinte configuração: processador de 1.5 GHz, disco rígido de 40 GB, 512 MB de memória RAM e placa de vídeo de 65 MB, além de impressora, scanner e máquina fotográfica.

### **5.2.2 – Programas Computacionais**

Os programas computacionais utilizados foram os seguintes:

- AutoCAD Map: usado na manipulação e edição dos arquivos CAD;
- Microsoft Visio: programa CASE usado na criação do modelo conceitual;
- ArcGIS: SIG composto de três aplicativos (Arcmap, ArcToolbox e ArcCatalog);
- Microsoft Access: Sistema Gerenciador de Banco de Dados.

### **5.2.3 – Bases de Dados Espaciais**

A base de dados espaciais é composta de dados gráficos e descritivos, sendo listados a seguir:

### 5.2.3.1 – Base de Dados Descritivos

A base de dados descritivos foi cedida em meio digital no formato .MDB (Microsoft Access), contendo os dados sobre os clientes da área da validação do modelo, o gerenciamento destes dados é feito pelo cadastro comercial da Companhia, a Figura 21 ilustra uma das tabelas utilizadas na pesquisa.

A manutenção desta base dá-se pela rotina de atendimento e execução de serviços. O banco de dados é alimentado pelas ordens de serviço que são preenchidas em campo de acordo com o tipo de serviço executado.

Matrícula	Localidade	Setor	Quadra	Lote	Inscricao	Nome do Cliente	Endereço do Usuário
11415355	18	42	20	162	184220162	UFPB(CCBS - DIRETORIA)	RUA JUVENCIO ARRUDA, 60
11415363	18	42	20	278	184220278	MARIA JOSE M DE ASSIS	RUA JUVENCIO ARRUDA, 160
11857064	18	42	20	392	184220392	MORTUARIA BOA VIAGEM	RUA JUVENCIO ARRUDA, 600
11415371	18	42	20	727	184220727	JOSE RILDO DE OLIVEIRA	RUA JOAO ALFREDO, 139
11415398	18	42	20	811	184220811	CLEPER DANTAS WANDERLEY	RUA JOAO ALFREDO, 10
11415088	18	42	25	409	184225409	UNIDADE MEDICINA LEGAL	RUA JUVENCIO ARRUDA, 483
11415096	18	42	25	590	184225590	UFPB CCBS.FAC.MEDICINA	RUA JUVENCIO ARRUDA, 795
11297549	18	42	35	53	18423553	MARIA AMELIA DOS SANTOS	RUA MANOEL G DE MELO, 150
11854448	18	42	35	59	18423559	MARIA DA G V DOS SANTOS	RUA MANOEL G DE MELO, 136
11854456	18	42	35	76	18423576	ANTONIO MONTEIRO DA COSTA	RUA DR ABDIAS DA SILVA CAMPOS, 19
11415428	18	42	35	80	18423580	MIRIAN GASPAS LIMA	RUA DR ABDIAS DA SILVA CAMPOS, 13
11935707	18	42	35	83	18423583	SEBASTIAO MARIANO FILHO	RUA DR ABDIAS DA SILVA CAMPOS, 20
11847336	18	42	35	94	18423594	CICERA MARIA DA CONCEICAO	RUA DR ABDIAS DA SILVA CAMPOS, 20
11847344	18	42	35	100	184235100	JOSEFA FAGUNDES DA SILVA	RUA DR ABDIAS DA SILVA CAMPOS, 21
11847395	18	42	35	107	184235107	MARIA DESTERRO MIQUEL	RUA DR ABDIAS DA SILVA CAMPOS, 21
11847360	18	42	35	135	184235135	EMIDIA M PALMEIRA	RUA JUVENCIO ARRUDA, 223
11847379	18	42	35	141	184235141	MARIA DAS G M BELARMINO	RUA JUVENCIO ARRUDA, 222
11847387	18	42	35	146	184235146	JOAQUINA MARIA DE SOUZA	RUA JUVENCIO ARRUDA, 220
11297565	18	42	35	152	184235152	DAMIAO DO NASCIMENTO	RUA JUVENCIO ARRUDA, 218
11847409	18	42	35	160	184235160	MARIA JOSE DO NASCIMENTO	RUA JUVENCIO ARRUDA, 216
11303093	18	42	35	172	184235172	LUZIA MARIA ROCHA	RUA JUVENCIO ARRUDA, 214
11305614	18	42	35	178	184235178	ADELINA NUNES SIDRONE	RUA JUVENCIO ARRUDA, 212
11260750	18	42	35	184	184235184	JOAO SILVINO DO SANTOS	RUA MANOEL G DE MELO, 208
12051900	18	42	40	501	184240501	LINDALVA P GOUVEIA	RUA FRANCISCO AFONSO, 232
11646217	18	42	40	509	184240509	FRANCISCA MARIA SANTOS	RUA FRANCISCO AFONSO, 234
11983434	18	42	40	527	184240527	FERNANDO MARQUES DA SILVA	RUA FRANCISCO AFONSO, 238
11847417	18	42	40	529	184240529	MARIA JOSE M SILVA	RUA FRANCISCO AFONSO, 71 A
11983442	18	42	40	533	184240533	JOSE JUVINO DA SILVA	RUA FRANCISCO AFONSO, 240
11810785	18	42	40	540	184240540	SEVERINO MATIAS	RUA FRANCISCO AFONSO, 71

Figura 21 – Dados alfanuméricos do Cadastro Comercial

### 5.2.3.2 – Base de Dados Gráficos

A base cartográfica utilizada na pesquisa foi cedida pela CAGEPA, Gerência Regional da Borborema. É formada por plantas de quadra contendo: lotes, postes,

rodovias, bocas de lobo, hidrômetros, elementos da hidrografia da cidade, logradouros, e as redes de infra-estrutura, além dos seus componentes (Figura 22).

A sistemática de atualização desta base pelo obedece ao seguinte fluxo:

- Os cadastros das intervenções e/ou expansões de redes são feitos na área operacional, a partir dos mapas plotados em uma determinada área;
- Estes mapas, já com as devidas alterações, são encaminhados ao departamento de projetos, que após a execução do serviço, envia as alterações para o cadastro técnico. Desta forma, a manutenção dos arquivos dá-se periodicamente;
- Quando solicitado, enviam-se cópias dos mapas atualizados às áreas da Companhia que se utilizam destes.

Analisando o fluxo de manutenção dos arquivos gráficos, a base cartográfica e as malhas de rede de distribuição de água, conclui-se que se as mesmas encontravam-se atualizadas. Pranchas de cadastros de rede de distribuição de água dos setores operacionais se encontravam com detalhes recentes e/ou intervenções cadastradas, que no mesmo período estavam inseridas no arquivo gráfico digital.

A base foi obtida através de levantamento topográfico pela ATECEL - Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira, no ano de 2002. A aquisição desta base foi executada a partir da criação dos marcos da rede de referência cadastral, através de levantamento com receptores GPS de dupla frequência, utilizou-se o método relativo estático, conjuntamente com um nivelamento geométrico de primeira ordem utilizando estação total.

O sistema de referência da base é o UTM – Universal Transversa de Mercator, zona 25, Datum SAD - 69, Elipsóide de Referência 67.

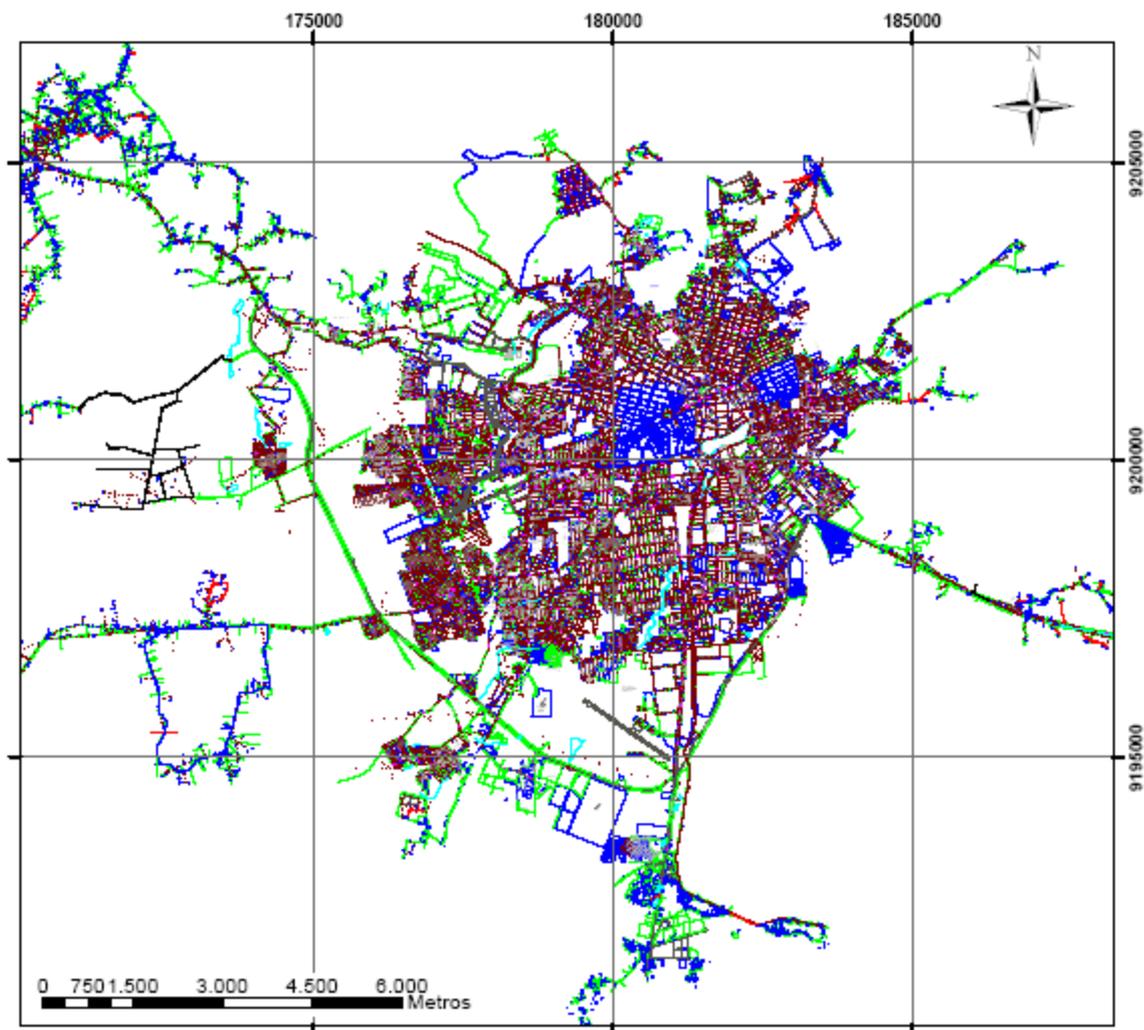


Figura 22 – Base Cartográfica da cidade de Campina Grande

## 6. MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Para avaliar a metodologia utilizada, foi desenvolvido um projeto piloto na cidade de Campina Grande - PB, situada na mesorregião do Agreste Paraibano, há cerca de 120 km da capital João Pessoa (Figura 23).

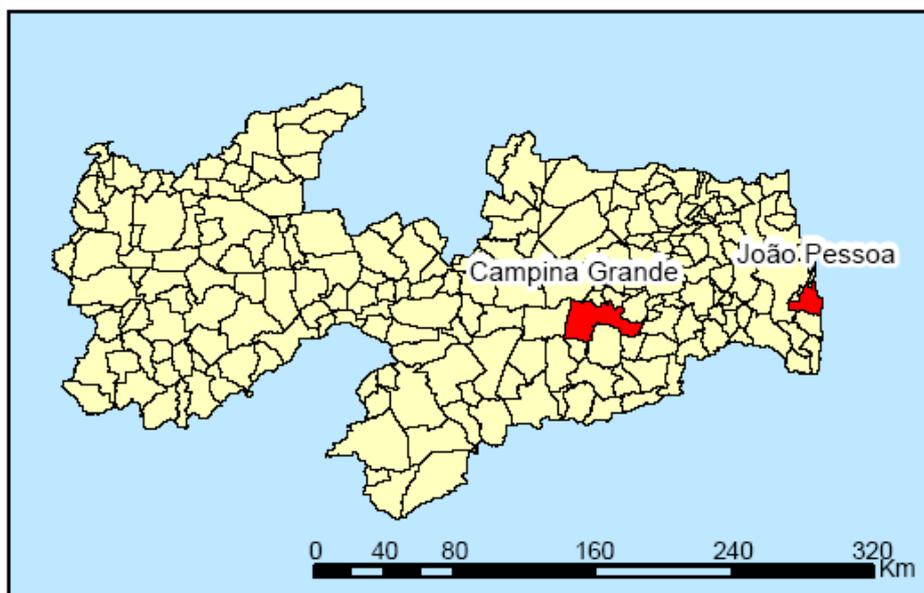


Figura 23 – Localização de Campina Grande em Relação a João Pessoa (PB).

Além de sua sede, o Município de Campina Grande compõe-se dos Distritos de Galante, São José da Mata e Catolé de Boa Vista, totalizando uma área de 518 Km<sup>2</sup>. A Tabela 3 mostra a distribuição da área total do Município, em suas zonas urbana e rural.

Tabela 3 - Áreas do Município de Campina Grande

Zona	Área (Km <sup>2</sup> )
Urbana	98,5
Rural	419,5
Total	518,0

Fonte: IBGE (2000)

Segundo a última contagem populacional feita em 2000 pelo IBGE (2000) o município de Campina Grande conta com 362.317 habitantes, dos quais 337.785 recebem água tratada em suas residências e destes, 232.708 possuem esgotamento sanitário (SNIS, 2002).

A área onde foram realizados os testes com projeto piloto compreende o bairro de Bodocongó e adjacências, possuindo aproximadamente 27 km de redes de distribuição de água, dois reservatórios de grande porte, uma estação elevatória e um total de 510 economias, pertencentes ao setor comercial 42 (Figura 24).

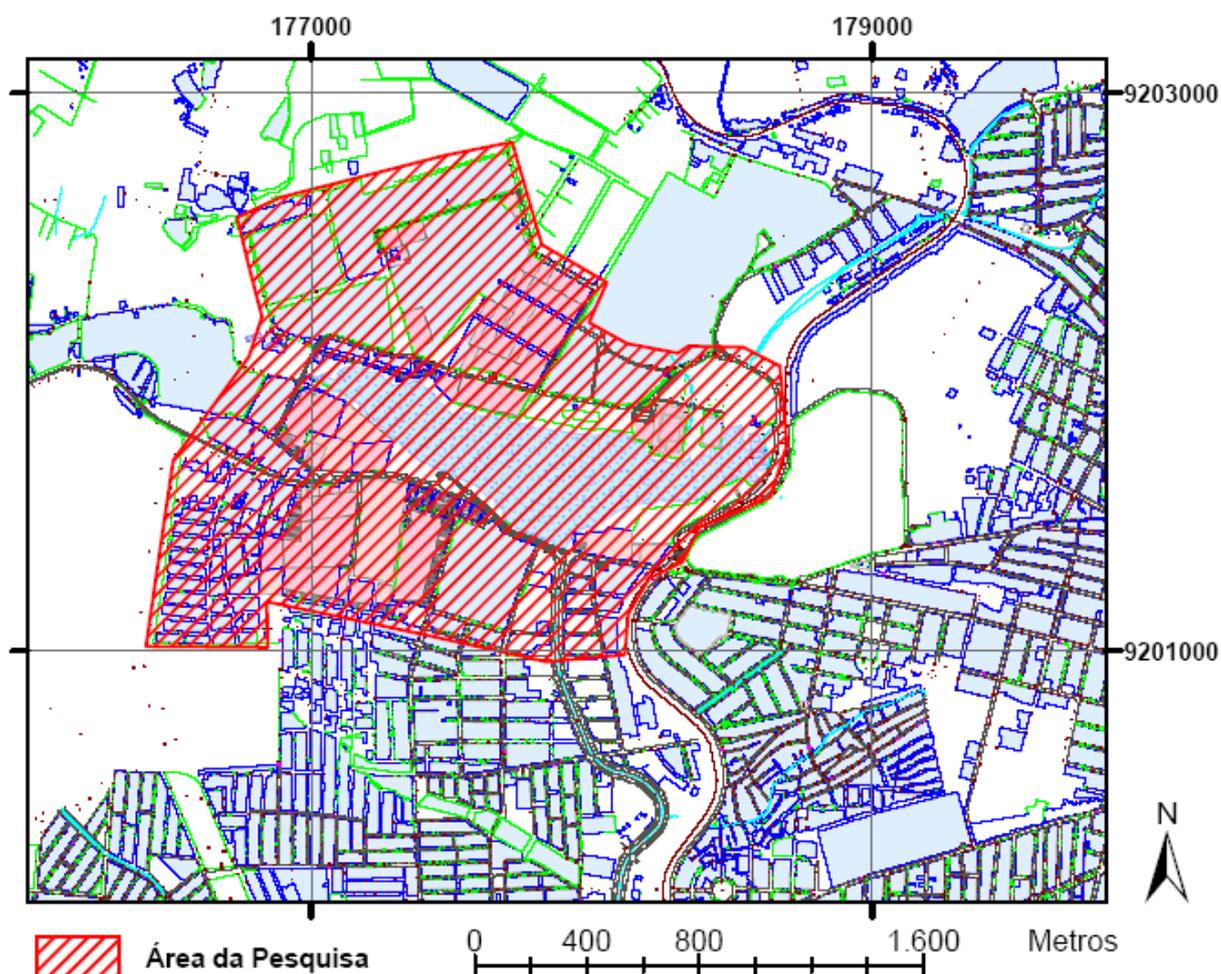


Figura 24 – Área de Validação do Modelo

## 6.1 ABSTRAÇÃO DO MUNDO REAL

Nesta fase de desenvolvimento do Sistema aplicativo, foi necessário entender as atividades diárias de uma Companhia de saneamento, após esta vivência, foi possível descobrir quais seriam os elementos ideais que fariam parte do domínio da aplicação em estudo.

### 6.1.1 – Descrição da Aplicação

As entidades representadas dentro do domínio do problema constituem três aspectos funcionais da maioria das Companhias de saneamento, que são: a base cartográfica, os dados do cadastro comercial e do cadastro técnico.

A base cartográfica é representada pelas seguintes entidades: limites de setor, logradouros, obras, postes, edificações, praças, hidrografia, quadras e lotes. Em relação às quadras e lotes observa-se o seguinte: cada quadra pertence apenas a um setor, e são formadas por um ou mais lotes. Cada lote é representado pela sua testada, que é a dimensão da frente do lote. Cada testada de lote dá frente para um ou mais logradouros. A malha viária é representada por segmentos de logradouro, denominados trechos. Um segmento de logradouro é a parte do logradouro compreendida entre dois cruzamentos. Estas entidades representam o aspecto geográfico da área sobre a qual foi implantado o sistema de abastecimento de água.

Em relação ao cadastro comercial, foram selecionados todos os dados da base alfanumérica relativos aos consumidores da área de estudo. Desta forma, os funcionários do setor comercial poderiam fazer as mesmas consultas que o antigo sistema de informação proporcionava, e ainda com a vantagem da visualização espacial dos lotes.

As entidades pertencentes ao cadastro técnico foram selecionadas de forma a representar a maioria dos elementos constituintes de um sistema de distribuição de água, que normalmente é formado por reservatórios que possuem a função de abastecer continuamente a rede de distribuição, armazenar água para o combate de incêndios e condicionar as pressões disponíveis na rede.

Já a rede de distribuição, é composta por tubulações, peças e equipamentos, com a finalidade de conduzir a água em quantidade, qualidade e pressões suficientes para os diversos pontos de consumo. Outros elementos constituintes são as Peças, que interferem no fluxo de água, mas não permitem manobras ou operações por funcionários, como por exemplo, curva, tê, junção, entre outras. E os equipamentos que interferem no fluxo e permitem manobras ou operações por funcionários, como por exemplo: hidrantes, registros, ventosas, válvulas de redução de pressão, entre outras.

Também fazem parte deste sistema, os ramais prediais que se constituem de segmentos de tubulação que derivam da rede de distribuição para suprir o abastecimento, comumente chamadas de ligações de água, responsáveis pelo fornecimento de água nas residências (Figura 25).

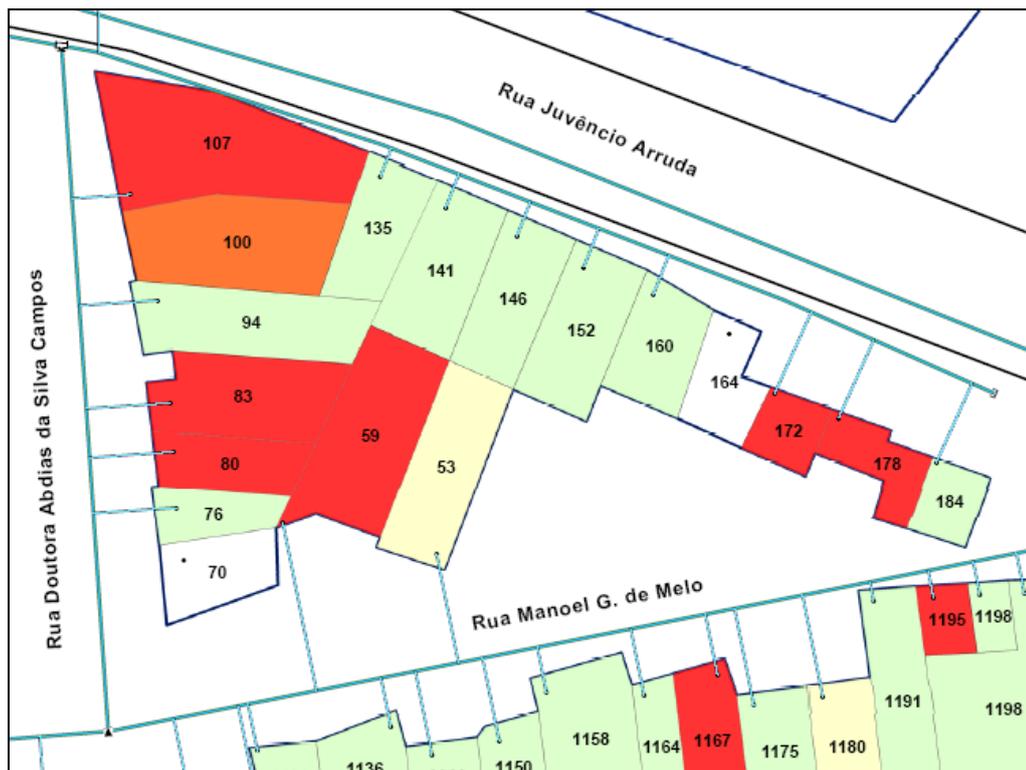


Figura 25 – Representação dos Ramais Prediais

O transporte da água entre o reservatório e os pontos de consumo pode ocorrer por gravidade ou por bombeamento, feito por estação elevatória. Sua função

é manter a pressão na rede suficiente para que atenda todas as edificações da área de influência do reservatório.

## **6.2 SISTEMA PROPOSTO**

### **6.2.1 – Função Principal do Sistema**

O sistema aplicativo desenvolvido possibilita o gerenciamento, análises espaciais e hidráulicas dos componentes de um sistema de distribuição de água.

### **6.2.2 – Atuação do Sistema Desenvolvido**

O sistema possui duas demandas, a primeira refere-se à produção e recuperação de informações do cadastro dos consumidores de água potável da Companhia, feita através da visualização espacial dos lotes e dos dados descritivos armazenados em tabelas, contendo informações como: nome do consumidor, endereço, número de matrícula, número do hidrômetro, histórico do consumo, dentre outros.

A segunda demanda diz respeito às análises na rede de distribuição. As operações na rede poderão ser simuladas através da abertura e fechamento de válvulas ou registros, em função dos vazamentos da rede ou de operações de manutenção. A partir destas simulações é determinado o conjunto de consumidores afetados com tal manobra. O formato dessas informações produzidas inclui exibição temporária de mapas e tabelas no monitor que podem ser enviados para impressoras de pequeno ou grande porte ou armazenado em arquivos.

### **6.2.3 – Resumo do Sistema**

O sistema aplicativo desenvolvido possui as seguintes funções:

- Gerar a base de dados espaciais;
- Atualizar a base de dados espaciais;
- Validar as alterações do cadastro comercial e técnico;

- Realizar análises espaciais;
- Realizar análises de fluxo a partir da topologia armazenada no sistema;
- Indicar quais válvulas devem ser fechadas na ocorrência de vazamentos e manutenção da rede;
- Indicar os consumidores afetados a partir das manobras na rede;
- Produzir mapas temáticos a partir das consultas e análises, e
- Gerar metadados para a aplicação, ou seja, dados que contém a classificação dos dados, a cobertura geográfica, as informações sobre a qualidade, a estrutura geométrica dos dados (SÁ, 2001).

#### **6.2.4 – Restrições que afetam o sistema**

As informações sobre o cadastro físico da rede de abastecimento de água devem ser revisadas sempre que possível, com o intuito de diminuir as incertezas sobre os seus elementos. Desta forma, se torna possível uma melhor calibração do modelo hidráulico, gerando análises mais precisas.

### **6.3 MODELO CONCEITUAL**

O modelo conceitual foi desenvolvido a partir das observações feitas durante a etapa de abstração do mundo real. Foram analisadas as funcionalidades que seriam exigidas pelos usuários do SIG. As entidades representadas neste conjunto de diagramas compõem os elementos do sistema de abastecimento da área do projeto piloto. Tais elementos foram estudados criteriosamente, sendo identificados os atributos necessários a cada um e os relacionamentos existentes entre eles. Estes estudos juntamente com a base alfanumérica do cadastro comercial, forneceram meios para a arquitetura ideal do SIG.

Para a construção do modelo conceitual foi utilizado o programa Visio, que possibilita a exportação do modelo UML criado para o formato .XMI, desta forma foi possível exportá-lo diretamente para o aplicativo de gerenciamento de dados do ArcGIS, o ArcCatalog. A partir da leitura do arquivo .XMI este aplicativo gera

automaticamente o Banco de Dados Espaciais, composta pelas classes e relacionamentos definidos no modelo.

O modelo conceitual foi dividido em quatro pacotes com o objetivo de distribuir as classes em temas de acordo com sua área de atuação dentro do sistema. Desta forma, o modelo conceitual foi construído em 4 diagramas de estrutura estática UML: Diagrama dos Elementos Base (Figura 26), Diagrama do Cadastro Técnico (Figuras 27a e 27b), Diagrama do Cadastro Comercial (Figura 28), e o Diagrama da Hipsografia (Figura 29). Além destes diagramas, foram definidos os relacionamentos entre as classes (Figura 30) e os domínios (Figuras 31a e 31b), que são os conjuntos de valores possíveis para um atributo.

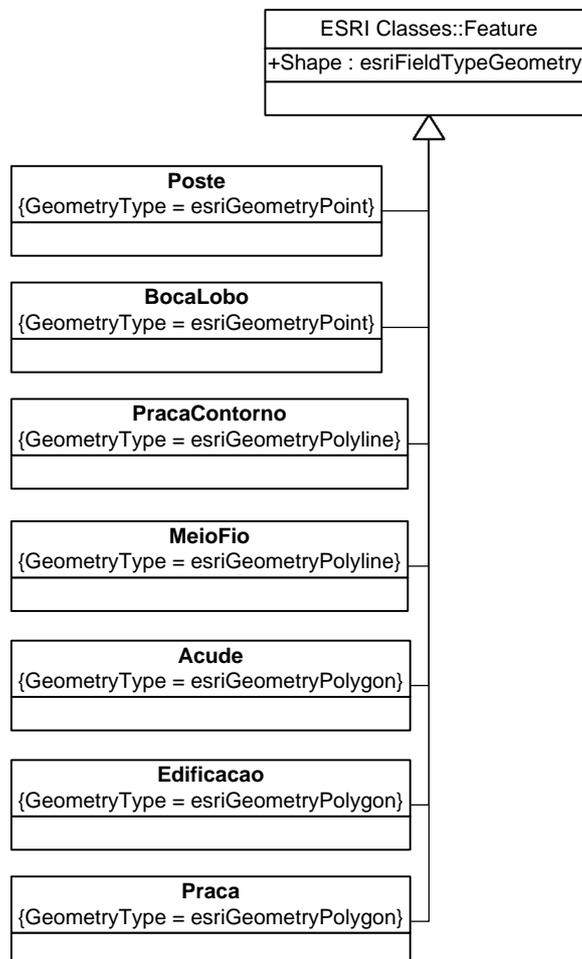


Figura 26 - Diagrama dos Elementos Base

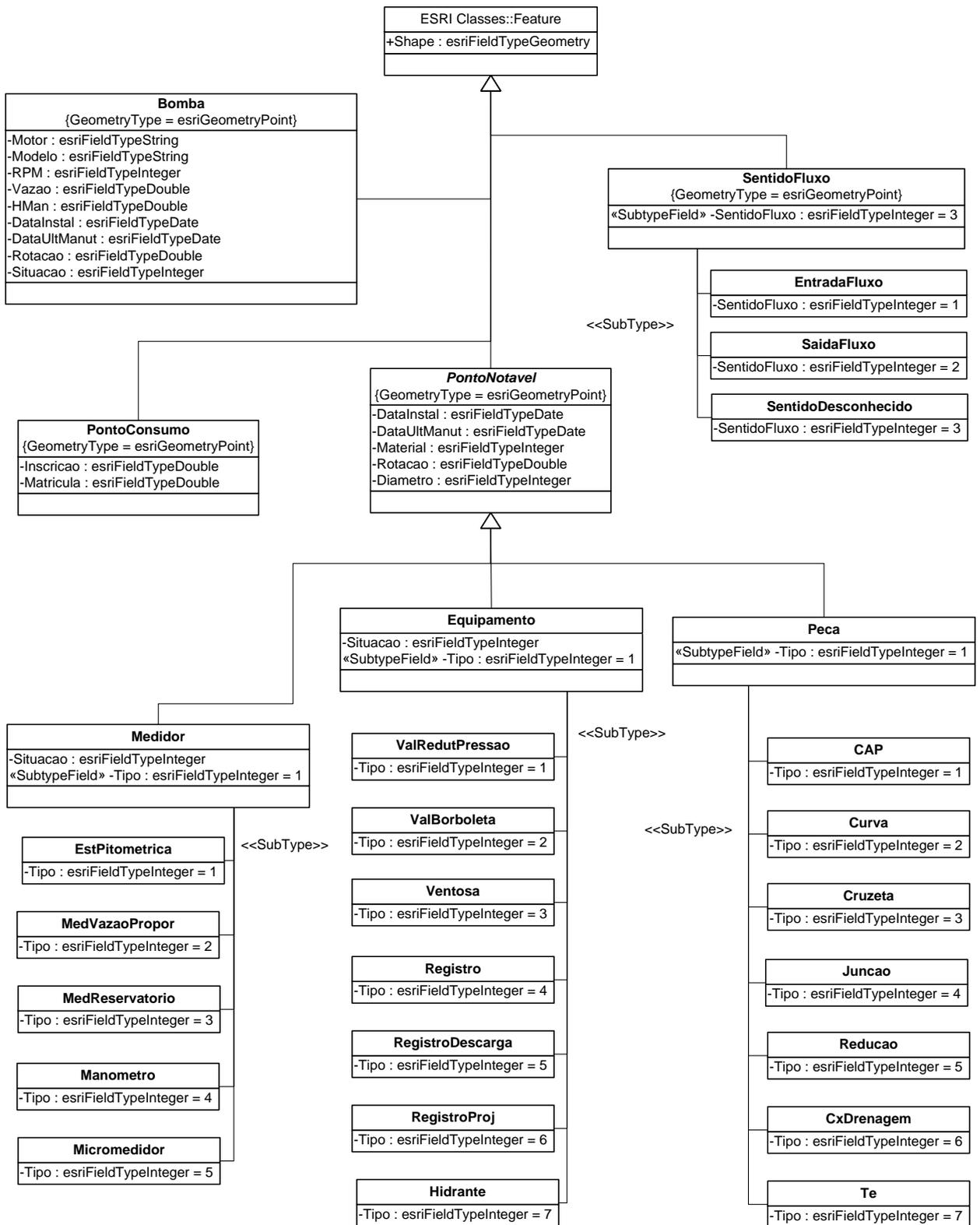


Figura 27a – Diagrama do Cadastro Técnico (Parte 1)

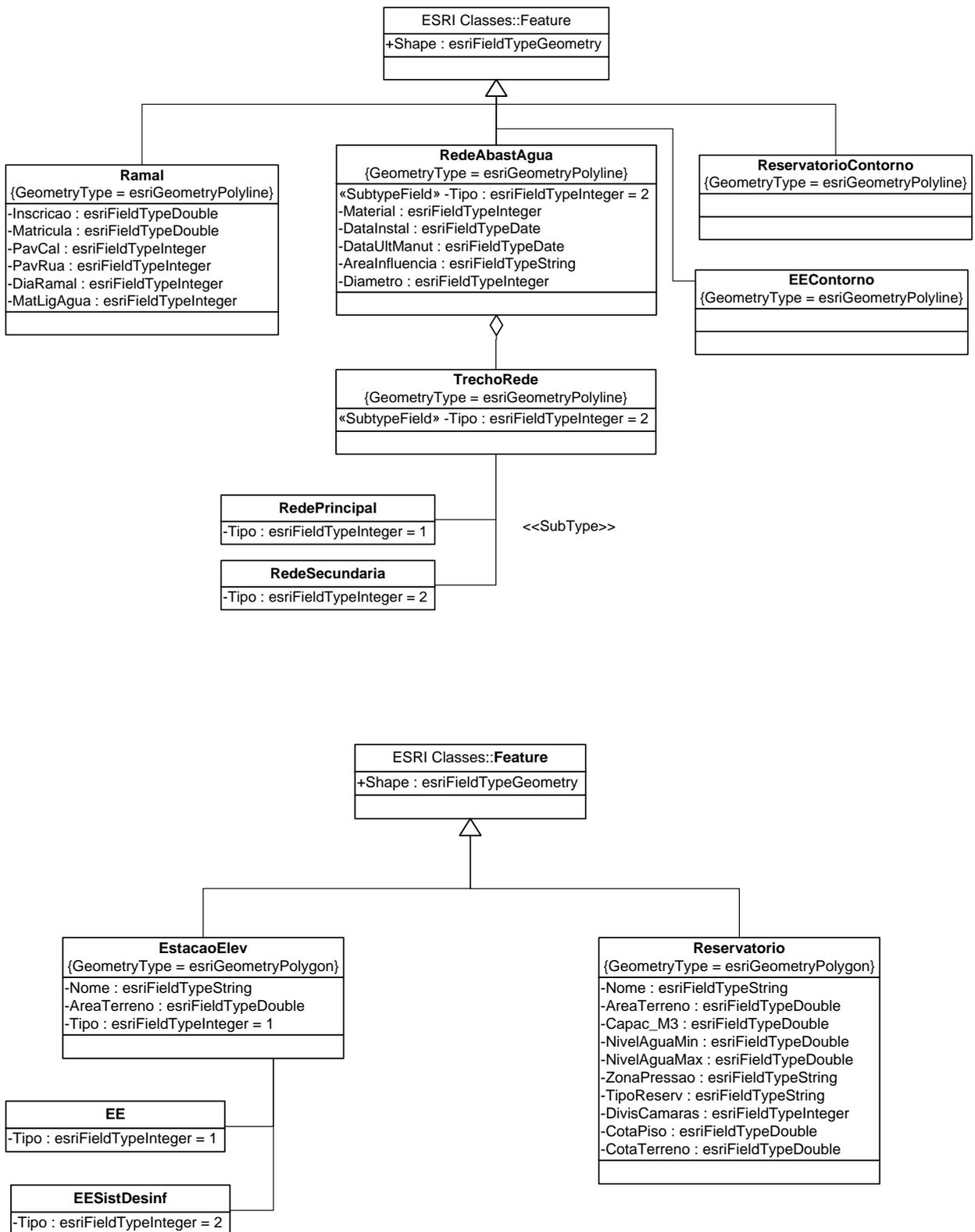


Figura 27b – Diagrama do Cadastro Técnico (Parte 2)

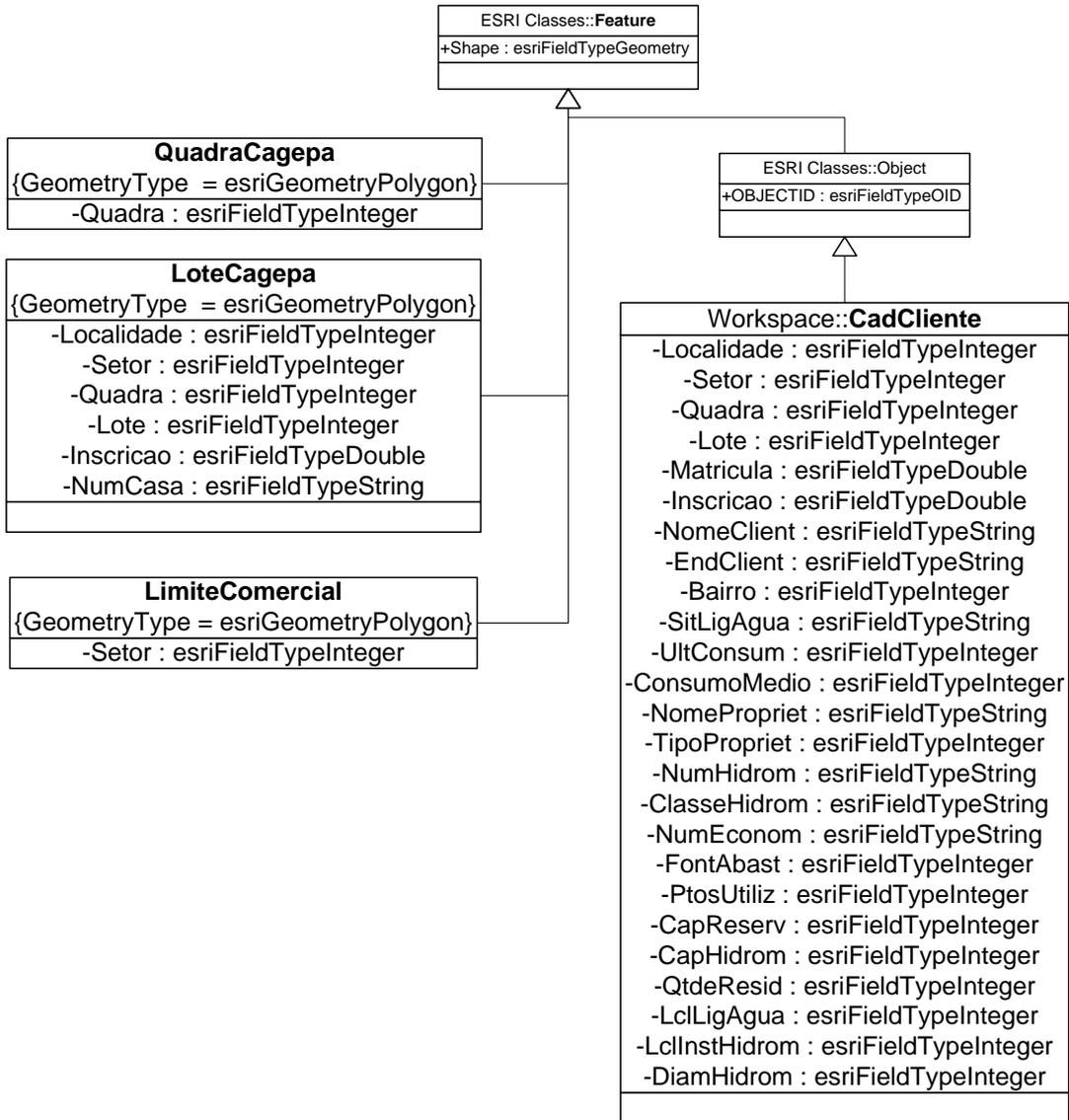


Figura 28 – Diagrama do Cadastro Comercial

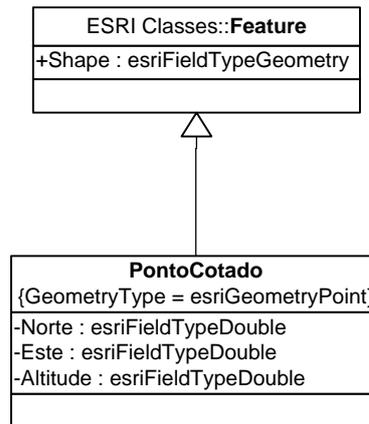


Figura 29 – Diagrama da Hipsografia

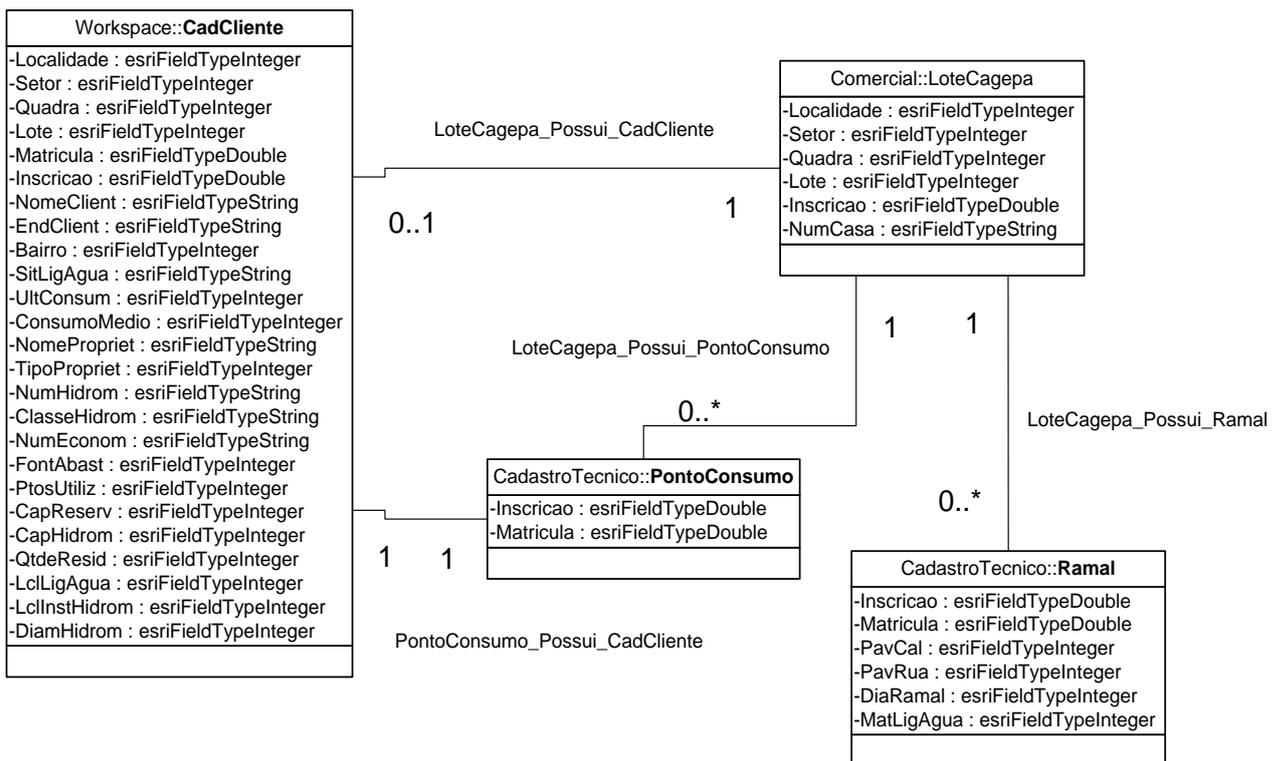


Figura 30 – Relacionamento entre as classes

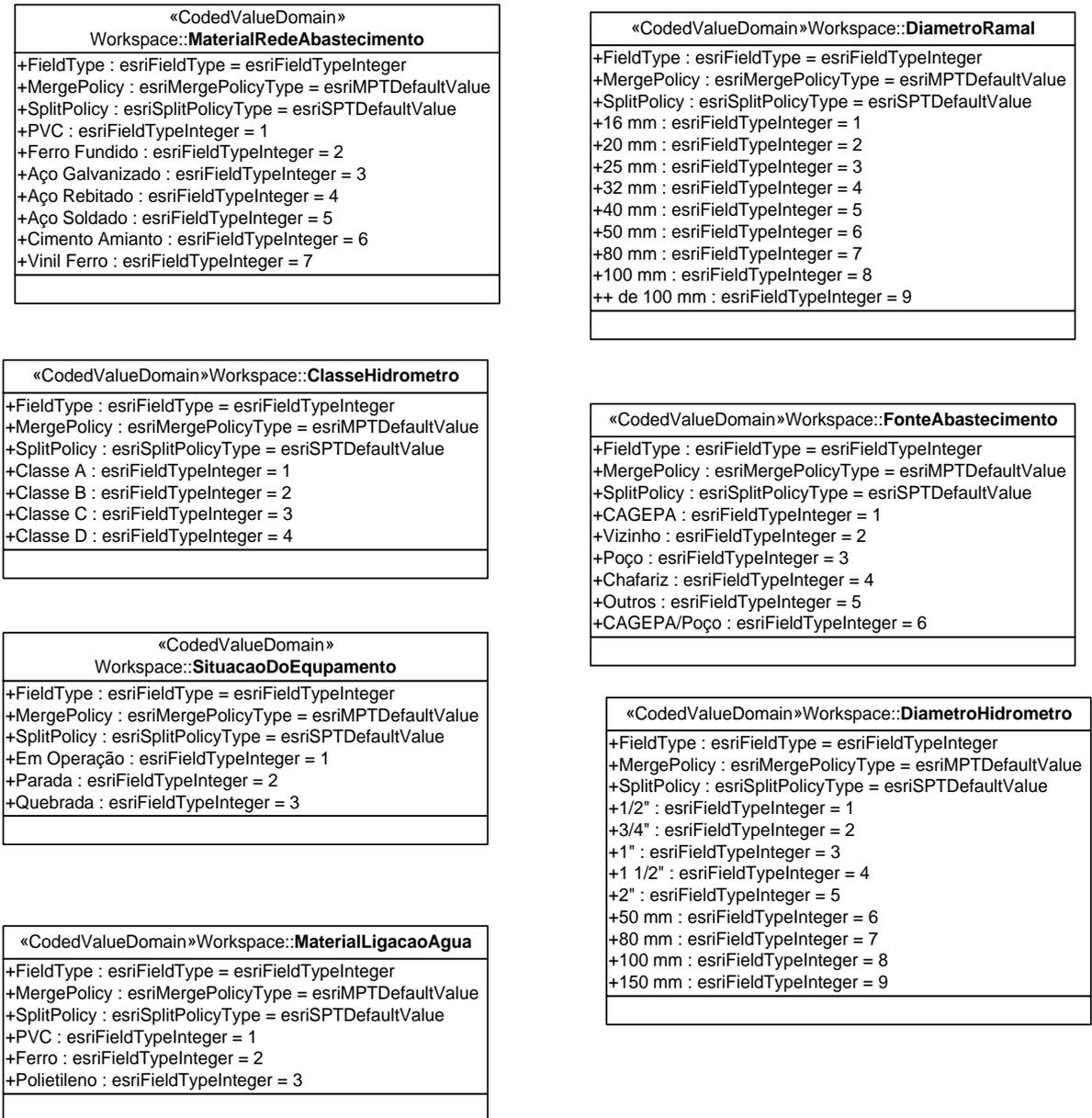


Figura 31a – Domínios (parte 1)

«CodedValueDomain» Workspace:: <b>CapacidadeReservatorio</b>	«CodedValueDomain»Workspace:: <b>PavimentoCalcada</b>
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger +MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue +SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue +Não Há Reservatório : esriFieldTypeInteger = 0 +Até 0,25 m3 : esriFieldTypeInteger = 1 +de 0,25 m3 a 1,00 m3 : esriFieldTypeInteger = 2 +de 1,00 a 2,00 m3 : esriFieldTypeInteger = 3 +de 2,00 m3 a 3,00 m3 : esriFieldTypeInteger = 4 +Mais de 5,00 m3 : esriFieldTypeInteger = 5 +Volume Ignorado : esriFieldTypeInteger = 6	+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger +MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue +SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue +Sem Informação : esriFieldTypeInteger = 0 +Terra : esriFieldTypeInteger = 1 +Cimento : esriFieldTypeInteger = 2 +Pedra Rachinha : esriFieldTypeInteger = 3 +Pedra Portugêses : esriFieldTypeInteger = 4 +Bloquete : esriFieldTypeInteger = 5 +Lajota : esriFieldTypeInteger = 6 +Mosaico : esriFieldTypeInteger = 7
«CodedValueDomain» Workspace:: <b>LocalInstalacaoRedeAgua</b>	«CodedValueDomain»Workspace:: <b>PavimentoRua</b>
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger +MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue +SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue +Frente Lado Esquerdo : esriFieldTypeInteger = 1 +Frente Centro : esriFieldType = 2 +Frente Lado Direito : esriFieldType = 3 +Lateral Direita : esriFieldType = 4 +Lateral Esquerda : esriFieldType = 5 +Fundos : esriFieldType = 6 +Outros : esriFieldType = 7	+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger +MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue +SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue +Terra : esriFieldTypeInteger = 1 +Asfalto : esriFieldTypeInteger = 2 +Concreto : esriFieldTypeInteger = 3 +Paralelepípedo : esriFieldTypeInteger = 4 +Rachão : esriFieldTypeInteger = 5 +Bloquete : esriFieldTypeInteger = 6
«CodedValueDomain» Workspace:: <b>LocalInstalacaoHidrometro</b>	
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger +MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue +SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue +Externo : esriFieldTypeInteger = 1 +Jardim : esriFieldTypeInteger = 2 +Interno : esriFieldTypeInteger = 3 +Externo Lacre : esriFieldTypeInteger = 4 +Jardim Lacre : esriFieldTypeInteger = 5 +Interno Lacre : esriFieldTypeInteger = 6	

Figura 31b – Domínios (parte 2)

## 6.4 DICIONÁRIO DE DADOS

A seguir, é feita uma descrição de cada classe que compõem o sistema e seus atributos (Tabelas 4 a 17). As classes “EEContorno” e “ReservatorioContorno”, além daquelas que fazem parte do Diagrama dos Elementos Base, não são descritas neste item, já que são apenas de caráter ilustrativo e desta forma, não possuem atributos. Em seguida à descrição das classes, são apresentados os valores dos domínios (Tabelas 18 a 29).

### 6.4.1 – PontoCotado

**Descrição:** classe que representa os pontos cotados do levantamento topográfico. É representada através de feições pontuais.

#### Atributos:

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Norte	Número Real	12 dígitos	Coordenada Norte em UTM do ponto
Este	Número Real	12 dígitos	Coordenada Este em UTM do ponto
Altitude	Número Real	6 dígitos	Coordenada Z do Ponto

Tabela 4 – Classe Ponto Cotado

### 6.4.2 – RedeAbastAgua

**Descrição:** classe agregada que representa a rede de abastecimento de água. É formada pelos objetos da classe “TrechoRede”

#### Atributos:

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Material	Número Inteiro (obs.: valores do domínio “MaterialRedeAbastecimento”)	1 dígito	Tipo de material
DataInstal	Data	8 dígitos (dd.mm.aaaa)	Data em que a bomba foi instalada
DataUltManut	Data	8 dígitos (dd.mm.aaaa)	Data da última manutenção

ArealInfluencia	Texto	10 caracteres	Area de influência do reservatório sobre o trecho da rede
Diametro	Número Inteiro	4 dígitos	Diâmetro

Tabela 5 – Classe RedeAbastAgua

### 6.4.3 – TrechoRede

**Descrição:** classe que representa os trechos da rede de distribuição de água. Semanticamente, os objetos da classe “RedeAbastAgua” são compostos pelos objetos desta classe. Um trecho da rede pode ser do tipo: rede principal ou rede secundária. Sua representação espacial consiste de segmentos de reta, onde os pontos iniciais e finais estão ligados a nós da rede.

### 6.4.4 – Bomba

**Descrição:** classe que representa os diversos tipos de bombas. É representada através de feições pontuais.

#### Atributos:

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Modelo	Texto	10 caracteres	Modelo da bomba
Motor	Texto	10 caracteres	Tipo de motor
RPM	Número Real	5 dígitos	Número de rotações por minuto da bomba
Vazão	Número real	5 dígitos	Vazão fornecida pela bomba em m <sup>3</sup> /h
Hman	Número real	4 dígitos	Altura manométrica da bomba em metros
DataInstal	Data	8 dígitos (dd.mm.aaaa)	Data em que a bomba foi instalada
DataUltManut	Data	8 dígitos (dd.mm.aaaa)	Data da última manutenção
Situacao	Número Inteiro (obs.: valores do domínio “SituacaoDoEquipamento”)	1 dígito	Estado de funcionamento da bomba
Rotação	Número Inteiro	3 dígitos	Rotaciona a feição para uma melhor visualização e representação espacial.

Tabela 6 – Classe Bomba

### 6.4.5 – SentidoFluxo

**Descrição:** classe que armazena as direções do fluxo de água na rede. Pode ser do tipo: entrada de fluxo (recebe fluxo), saída de fluxo (fornece fluxo) e fluxo desconhecido.

### 6.4.6 – PontoConsumo

**Descrição:** um ponto de consumo é a ligação entre o ramal de água e o consumidor.

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Matricula	Número Inteiro	10 dígitos	Matrícula do consumidor no Cadastro Comercial
Inscricao	Número Inteiro	15 dígitos	Inscrição do consumidor

Tabela 7 – Classe PontoConsumo

### 6.4.7 – PontoNotavel

**Descrição:** é uma classe abstrata que permite três especializações: “Peca”, “Equipamento” e “Medidor”.

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
DataInstal	Data	8 dígitos (dd.mm.aaaa)	Data em que a feição foi instalada
DataUltManut	Data	8 dígitos (dd.mm.aaaa)	Data da última manutenção
Material	Número Inteiro (obs.: valores do domínio “MaterialRedeAbastecimento”)	1 dígito	Tipo de material
Diametro	Número Inteiro	4 dígitos	Diâmetro
Rotação	Número Inteiro	3 dígitos	Rotaciona a feição para uma melhor visualização e representação espacial.

Tabela 8 – Classe PontoNotavel

### 6.4.8 – Peça

**Descrição:** Feições pontuais que representam as peças que interferem no fluxo de água, porém não permitem manobras ou operações. Uma peça pode ser do tipo: CAP, curva, cruzeta, junção, redução, caixa de drenagem e tê. A classe “Peça” herda os atributos da classe “PontoNotavel”.

### 6.4.9 – Equipamento

**Descrição:** Feições pontuais que representam os equipamentos que interferem no fluxo de água, e permitem manobras ou operações por funcionários. Um equipamento pode ser do tipo: válvula redutora de pressão, registro, registro projetado, válvula borboleta, ventosa, hidrante e registro de descarga. A classe “Equipamento” herda os atributos da classe “PontoNotavel”.

#### Atributo:

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Situacao	Número Inteiro (obs.: valores do domínio “SituacaoDoEquipamento”)	1 dígito	Estado de funcionamento do equipamento

Tabela 9 – Classe Equipamento

### 6.4.10 – Medidor

**Descrição:** Feições pontuais que representam os equipamentos destinados a realizar a medição de vazão e/ou pressão nas tubulações, ou do nível dos reservatórios. Um medidor pode ser do tipo: estação pitométrica, medidor de vazão proporcional, medidor de reservatório, manômetro e micromedidor. A classe “Medidor” herda os atributos da classe “PontoNotavel”.

#### Atributo:

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Situacao	Número Inteiro (obs.: valores do domínio “SituacaoDoEquipamento”)	1 dígito	Estado de funcionamento do medidor

Tabela 10 – Classe Medidor

### 6.4.11 – Ramal

**Descrição:** Feições lineares que representam as ligações de água. O ramal é a entidade que faz a ligação entre um ponto de consumo a um trecho da rede de distribuição.

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Matricula	Número Inteiro	10 dígitos	Matrícula do consumidor no Cadastro Comercial
Inscricao	Número Inteiro	15 dígitos	Inscrição do consumidor
PavCal	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "PavimentoCalçada")	1 dígito	Tipo de pavimento da calçada
PavRua	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "PavimentoRua")	1 dígito	Tipo de pavimento da rua
LclLigAgua	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "LocalInstalacaoRedeAgua")	1 dígito	Local da ligação de água
DiamRamal	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "DiametroRamal")	1 dígito	Diâmetro do ramal

Tabela 11 – Classe Ramal

### 6.4.12 – EstacaoElev

**Descrição:** Feições poligonais que representam as estações elevatórias. Podem ser do tipo: estação elevatória ou estação elevatória com sistema de desinfecção.

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Nome	Texto	10 caracteres	Nome da estação elevatória
AreaTerreno	Número real	6 dígitos	Área do terreno

Tabela 12 – Classe EstacaoElev

### 6.4.13 – Reservatorio

**Descrição:** Feições poligonais que representam os reservatórios da Companhia de saneamento

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Nome	Texto	10 caracteres	Nome do reservatório
AreaTerreno	Número real	6 dígitos	Área do terreno
Capac_m3	Número Real	6 dígitos	Capacidade do reservatório em m3
NivelAguaMin:	Número real	6 dígitos	Cota do volume mínimo do reservatório (m)
NivelAguaMax	Número real	6 dígitos	Cota do volume máximo do reservatório (m)
ZonaPressao	Número Inteiro	4 dígitos	Zona de pressão do reservatório
TipoReserv	Texto	15 caracteres	Tipo de reservatório
DivisCamaras	Número Inteiro	2 dígitos	Quantidade de câmaras que o reservatório possui
CotaPiso	Número real	4 dígitos	Cota do piso do reservatório
CotaTerreno	Número real	4 dígitos	Cota do terreno

Tabela 13 – Classe Reservatorio

### 6.4.14 – LimiteComercial

**Descrição:** Área que delimita um setor comercial. É representada por um polígono fechado.

**Atributo:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Setor	Número Inteiro	4 dígitos	Número do setor

Tabela 14 – Classe LimiteComercial

### 6.4.15 – QuadraCagepa

**Descrição:** são feições poligonais que representam um agrupamento de lotes de acordo com a estruturação do loteamento, delimitadas pelo meio fio e pelo alinhamento predial.

**Atributo:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Quadra	Número Inteiro	4 dígitos	Número da quadra

Tabela 15 – Classe QuadraCagepa

### 6.4.16 – LoteCagepa

**Descrição:** Para a prefeitura, os lotes (fiscais) são parcelas das quadras, com divisas legais, destinadas a edificações em geral, para a CAGEPA, são representações gráficas dos seus consumidores. Neste caso, podem existir mais de um lote CAGEPA em um lote fiscal. Sua representação é feita por polígonos fechados.

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Localidade	Número Inteiro	3 dígitos	Código que identifica o município no qual o lote está
Setor	Número Inteiro	4 dígitos	Número do setor
Quadra	Número Inteiro	4 dígitos	Número da quadra
Lote	Número Inteiro	5 dígitos	Número do lote
Matricula	Número Inteiro	10 dígitos	Matrícula do consumidor no Cadastro Comercial
Inscricao	Número Inteiro	15 dígitos	Inscrição do consumidor
NumCasa	Texto	5 caracteres	Número do imóvel

Tabela 16 – Classe LoteCagepa

### 6.4.17 – CadCliente

**Descrição:** tabela que contém os dados referentes aos consumidores da Companhia de saneamento.

**Atributos:**

Nome	Tipo	Tamanho	Descrição
Localidade	Número Inteiro	3 dígitos	Código que identifica o município no qual o lote está
Setor	Número Inteiro	4 dígitos	Número do setor
Quadra	Número Inteiro	4 dígitos	Número da quadra
Lote	Número Inteiro	5 dígitos	Número do lote
Matricula	Número Inteiro	10 dígitos	Matrícula do consumidor no Cadastro Comercial
Inscricao	Número Inteiro	15 dígitos	Inscrição do consumidor
NumCasa	Texto	5 caract.	Número do imóvel
NomeClient	Texto	30 dígitos	Nome do cliente
EndClient	Texto	30 dígitos	Endereço do cliente
Bairro	Número Inteiro	4 dígitos	Bairro onde o cliente mora
SituacaoLigAgua:	Texto	20 dígitos	Situação da ligação de água
UltConsum	Número Inteiro	4 dígitos	Último consumo de água potável em m <sup>3</sup> /mês
ConsumoMedio	Número Inteiro	4 dígitos	Média de consumo (em m <sup>3</sup> ) dos últimos seis meses
NomePropriet	Texto	30 dígitos	Nome do proprietário do lote
NumHidrom	Número Inteiro	20 dígitos	Número do hidrômetro no lote
ClasseHidrom	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "ClasseHidrometro")	1 dígito	Classe do Hidrômetro
NumEconom	Número Inteiro	2 dígitos	Número de economias dentro do lote
FontAbast	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "FonteAbastecimento")	1 dígito	Especifica a fonte de abastecimento de água que supre o lote
PtosUtiliz	Número Inteiro	2 dígitos	Quantidade de

			pontos de utilização de água potável
CapReserv	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "CapacidadeReservatorio")	1 dígito	Capacidade do reservatório em m <sup>3</sup>
CapHidrom	Número Inteiro	4 dígitos	Capacidade do hidrômetro em l/s
TipoPropriet	Número Inteiro	2 dígitos	Código que indica o tipo de proprietário do lote
QtdeResid	Número Inteiro	3 dígitos	Quantidade de residentes do lote;
LclLigAgua	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "LocalInstalacaoAgua")	1 dígito	Local da ligação de água
LclLigHidrom	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "LocalInstalacaoHidrometro")	1 dígito	Local da ligação do hidrômetro
DiamHidrom	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "DiametroHidrometro")	1 dígito	Diâmetro do hidrômetro
MatLigAgua	Número Inteiro (obs.: valores do domínio "MaterialLigacaoAgua")	1 dígito	Material da ligação de água

Tabela 17 – Classe CadCliente

#### 6.4.15 – Descrição dos Domínios

##### DiametroHidrometro

Código	Descrição
1	1/2"
3	3/4"
3	1"
4	1 1/2"
5	2"
6	50 mm
7	80 mm
8	100 mm
9	150 mm

Tabela 18 – Valores do Domínio DiametroHidrometro

**DiametroRamal**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	16 mm
2	20 mm
3	25 mm
4	32 mm
5	40 mm
6	50 mm
7	80 mm
8	100 mm
9	+100 mm

Tabela 19 – Valores do Domínio DiametroRamal

**ClasseHidrometro**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	Classe A
2	Classe B
3	Classe C
4	Classe D

Tabela 20 – Valores do Domínio ClasseHidrometro

**MaterialLigacaoAgua**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	PVC
2	Ferro
3	Polietileno

Tabela 21 – Valores do Domínio MaterialLigacaoAgua

**FonteAbastecimento**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	CAGEPA
2	Vizinho
3	Poço
4	Chafariz
5	Outros
6	CAGEPA\Poço

Tabela 22 – Valores do Domínio FonteAbastecimento

**CapacidadeReservatorio**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
0	Não há Reservatório
1	Até 0,25 m <sup>3</sup>
2	De 0,25 a 1,0 m <sup>3</sup>
3	De 1,0 m <sup>3</sup> a 2,0 m <sup>3</sup>
4	De 2,0 m <sup>3</sup> a 3,0 m <sup>3</sup>
5	De 3,0 m <sup>3</sup> a 5,0 m <sup>3</sup>
6	Mais de 5,0 m <sup>3</sup>
9	Volume Ignorado

Tabela 23 – Valores do Domínio CapacidadeReservatorio

**LocalInstalacaoAgua**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	Frente Lado Esquerdo
2	Frente Centro
3	Frente Lado Direito
4	Lateral Direita
5	Lateral Esquerda

6	Fundos
7	Outros

Tabela 24 – Valores do Domínio LocalInstalacaoAgua

**SituacaoDoEquipamento**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	Em Operação
2	Parado
3	Quebrado

Tabela 25 – Valores do Domínio SituacaoDoEquipamento

**PavCal**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
0	Sem Informação
1	Terra
2	Cimento
3	Pedra Rachinha
4	Pedra Português
5	Bloquete
6	Lajota
7	Mosaico

Tabela 26 – Valores do Domínio PavCal

**LocalInstalacaoHidrometro**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	Externo
2	Jardim

3	Interno
4	Ext. Lacre
5	Jardim Lacre
6	Int. Lacre

Tabela 27 – Valores do Domínio LocalInstalacaoHidrometro

**PavRua**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	Terra
2	Asfalto
3	Concreto
4	Paralelepípedo
5	Rachão
6	Bloquete

Tabela 28 – Valores do Domínio PavRua

**MaterialRedeAbastecimento**

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
1	PVC
2	Ferro Fundido
3	Aço Galvanizado
4	Aço Rebitado
5	Aço Soldado
6	Cimento Amianto
7	Vinil Ferro

Tabela 29 – Valores do Domínio MaterialRedeAbastecimento

## 6.5 RESULTADOS

A partir da integração dos cadastros comercial e técnico foi possível desenvolver uma série de pesquisas e consultas espaciais. Informações utilizadas na rotina diária da Companhia Podem ser visualizadas, como por exemplo, cadastro de um consumidor, cadastro de um equipamento, entre outros que são normalmente utilizados na Companhia. Também foram criados *hyperlinks* entre os reservatórios e estações elevatórias com suas respectivas fotografias, como pode ser observado na Figura 32.

Além das consultas rotineiras, é possível efetuar pesquisas mais específicas, que são utilizadas para fins de estudo, análise e tomadas de decisões, por uma equipe técnica com conhecimento avançado no que se refere aos trabalhos deste tipo de serviço de infra-estrutura.

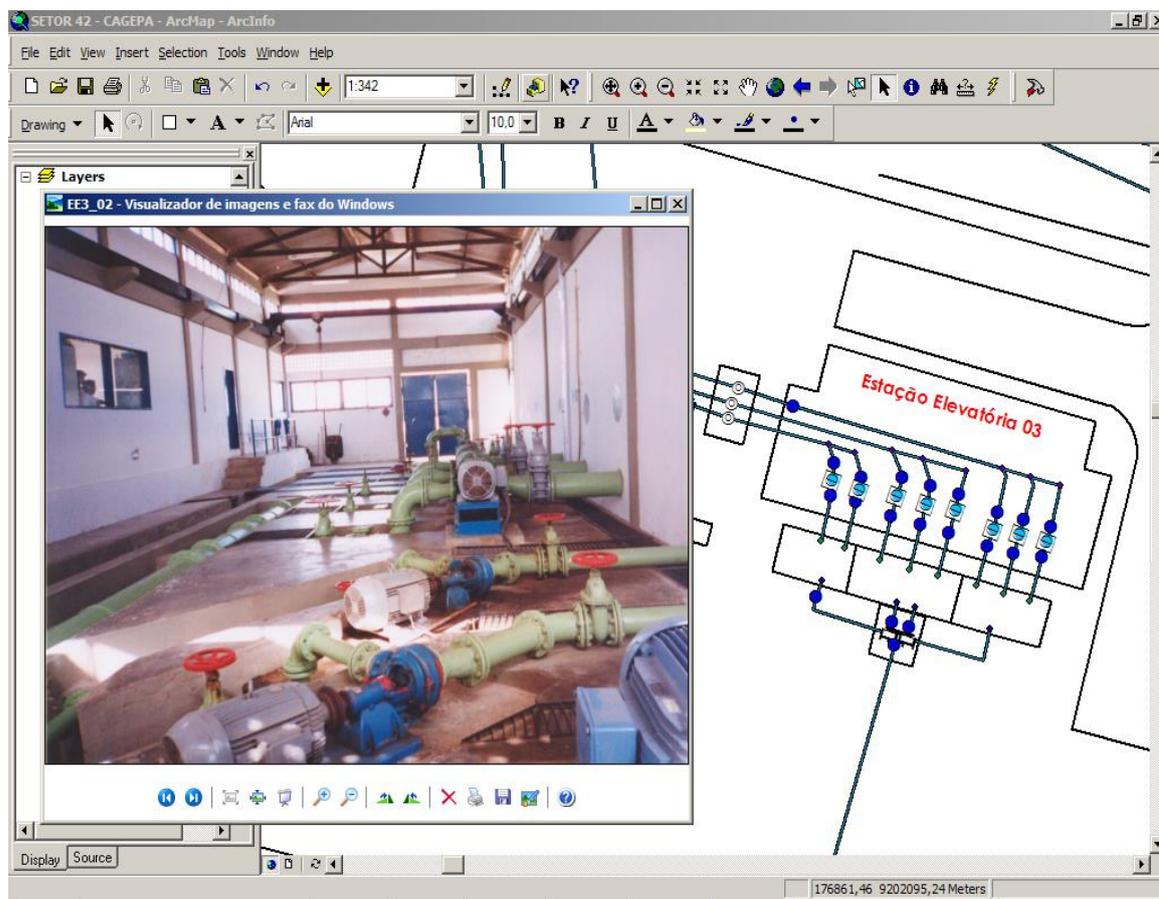


Figura 32 – *Hyperlink* entre uma estação elevatória e sua respectiva foto

### 6.5.1 – Análises de Rede

As análises de rede são realizadas no SIG, através da extensão *Utility Network Analyst* do ArcGIS. Este recurso, porém, não possui a capacidade de identificar as válvulas que devem ser fechadas quando da ocorrência de vazamentos e manutenção na rede. Para este tipo de análise foi utilizado a rotina *Isolation Trace* da ESRI, disponível no endereço eletrônico: <http://arcobjectsonline.esri.com>.

A identificação das válvulas é feita através da análise de fluxo, utilizando-se como ponto de partida o local sobre a rede onde está ocorrendo o vazamento, como pode ser observado na Figura 33, a partir daí são percorridos todos os arcos e nós conectados a esse ponto, com o objetivo de identificar qual a quantidade mínima de nós que impedem o fluxo sobre o local indicado.

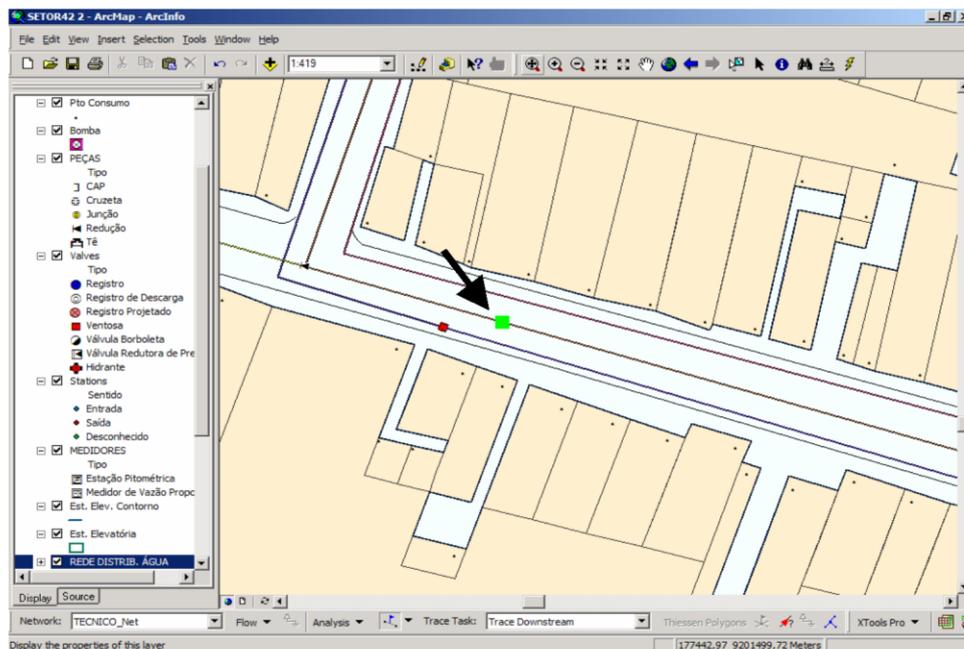


Figura 33 - Identificação do Local da Avaria

A análise também leva em consideração o refluxo, ou seja, a mudança de direção da água em consequência do fechamento de um determinado trecho da rede. Desta forma, são encontradas as válvulas a serem fechadas, como mostra a Figura 34.

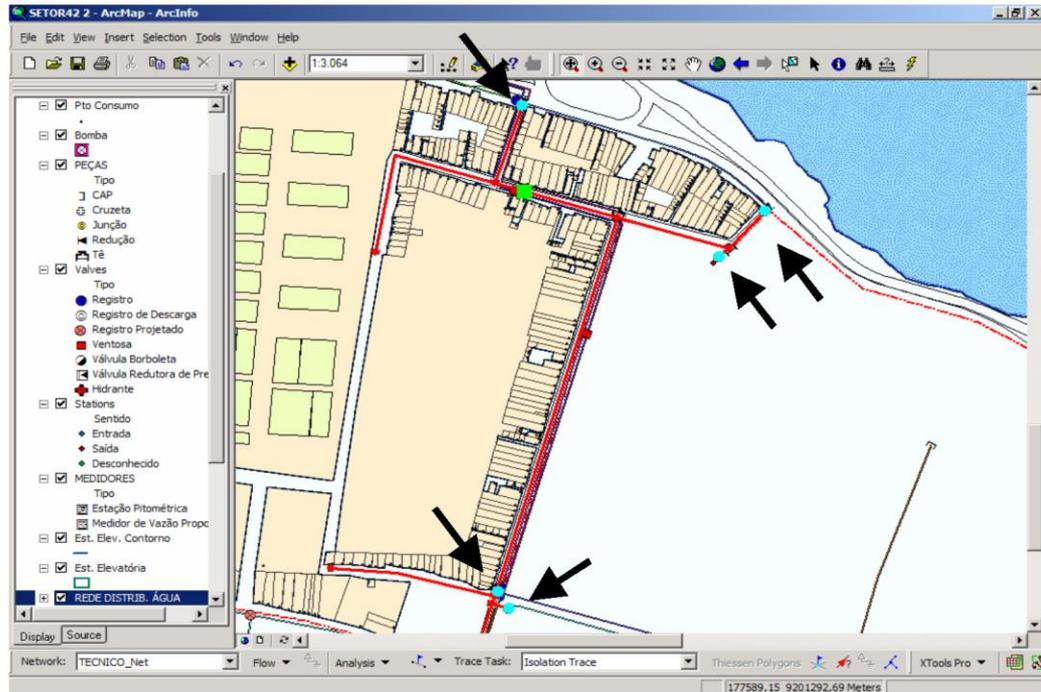


Figura 34 - Identificação das válvulas a serem fechadas

O próximo passo é localizar quais são os consumidores atingidos pelo fechamento das válvulas. Para isto é utilizado o recurso da análise espacial, onde são determinados os ramais que intersectam o trecho da rede atingido pelo desabastecimento (Figura 35).

Encontrados os ramais, o próximo passo é fazer uma consulta à tabela dos clientes relacionada com os ramais. A partir daí, a concessionária pode imprimir em formato de texto, tabela ou relatório, a relação dos consumidores afetados pela manobra.

As seguintes vantagens para esta aplicação foram observadas com a utilização desta metodologia:

- Auxílio no planejamento de manobras previstas, como em esquemas de rodízios ou manutenções programadas através de simulações de cenários;
- agilização da operação de fechamento e abertura de válvulas;

- orientação na programação de serviços de manutenção de redes indicando as redes desabastecidas;
- comunicação sobre o motivo das ocorrências causadoras do desabastecimento e previsões de retorno de abastecimento e
- identificação dos consumidores especiais (escolas, creches, hospitais, entre outros) através do relatório de consumidores que ficaram desabastecidos, para tomadas de decisões.

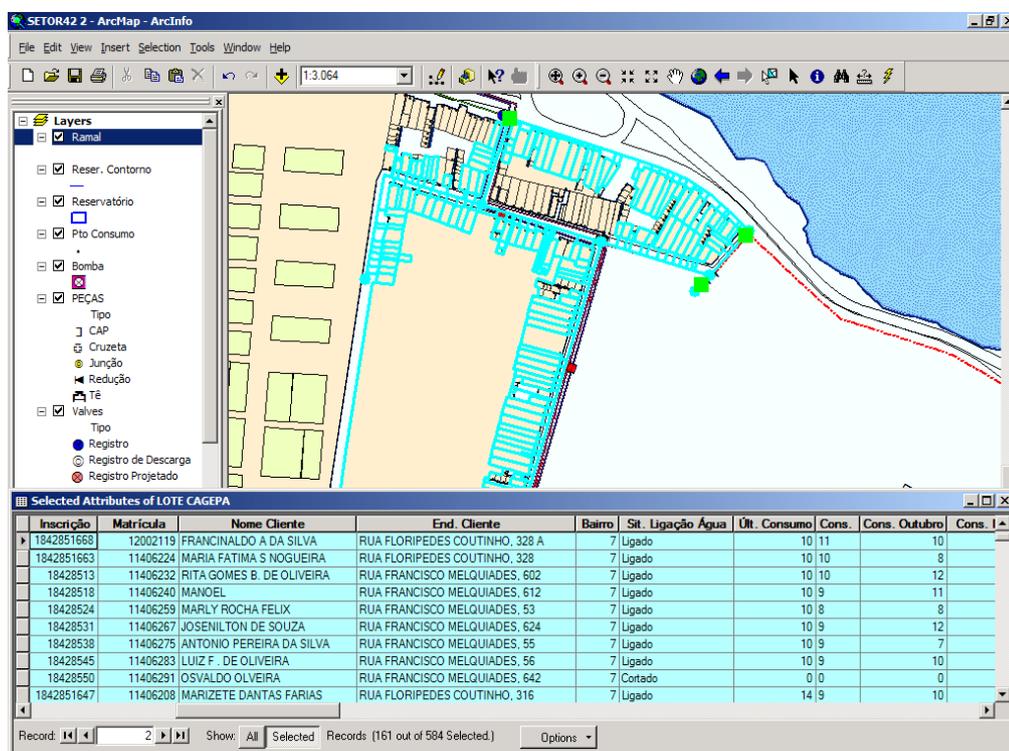


Figura 35 - Consumidores atingidos pelo desabastecimento

## 6.5.2 – Substituição de Redes de Distribuição

Através da comparação e correlação entre áreas com alta incidência de vazamentos ou rompimentos da rede, com a data de instalação do trecho atingido, foi possível definir parâmetros que priorizam os investimentos técnicos e financeiros na substituição das redes com problemas de funcionamento, ou seja, excesso de ocorrências ou questões relacionadas com a qualidade da água.

### 6.5.3 – Implantação de Novas Válvulas

O aplicativo desenvolvido pode ser utilizado para a realização de simulações na aferição de futuras intervenções, como por exemplo, no caso de instalação de uma válvula em um determinado trecho de rede de água (Figura 36).

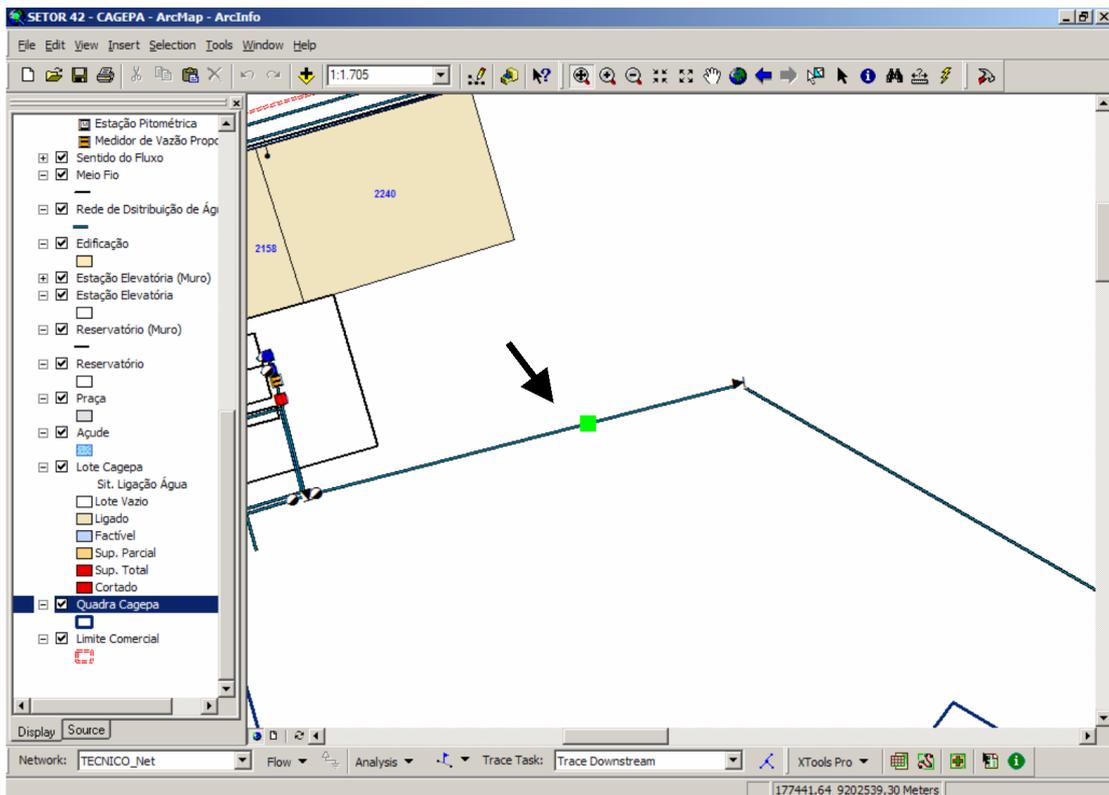


Figura 36 – Ponto definido para instalação de válvula

Identifica-se o ponto sobre a rede de distribuição onde irá ser instalada a válvula e, com o auxílio da ferramenta de análise de rede, obtém-se a área de influência do ponto escolhido ilustrada na Figura 37.

Após a determinação dos atributos e relacionamentos da válvula, conforme Figura 38, verifica-se a nova topologia da rede, considerando a instalação da válvula no ponto definido anteriormente, determinado conforme a Figura 39.

Esta metodologia pode auxiliar em estudos de projetos de expansão de redes, intervenções em redes existentes, simulações de rodízios, simulações de manobras de redes e também estudos de setorização.

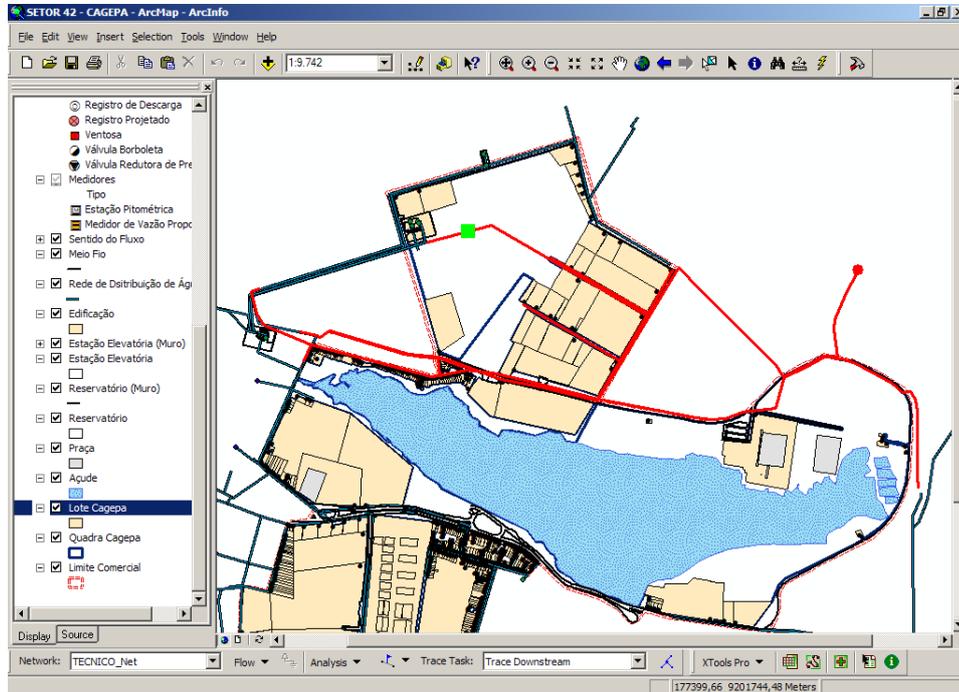


Figura 37 – Área de influência no ponto definido

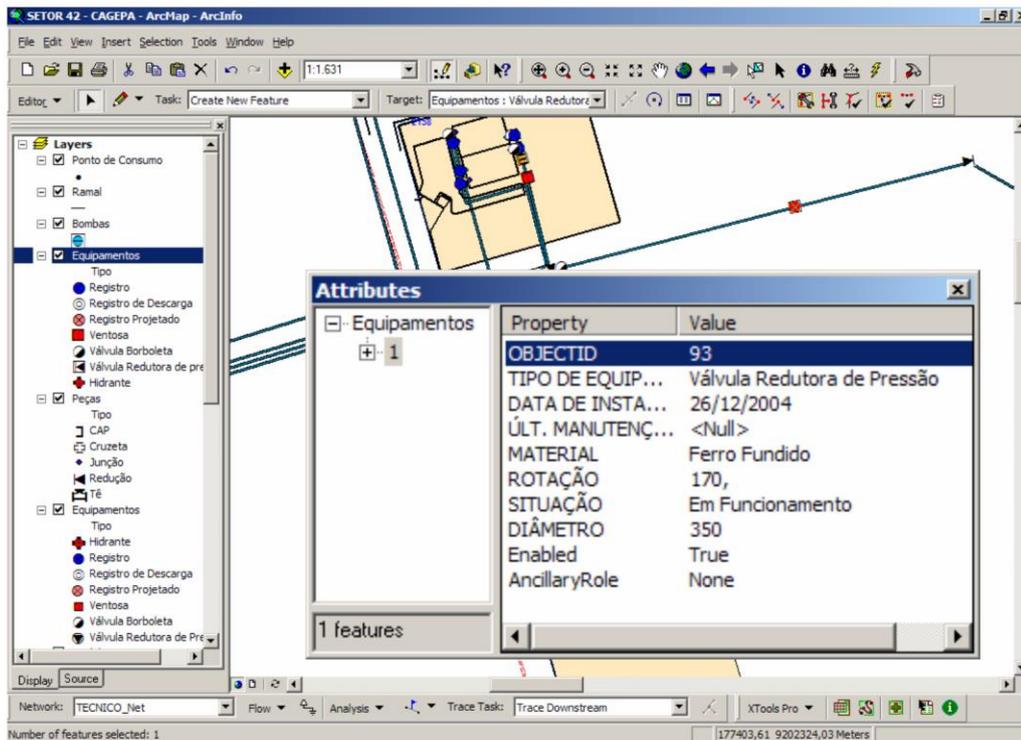


Figura 38 – Atributos da válvula instalada

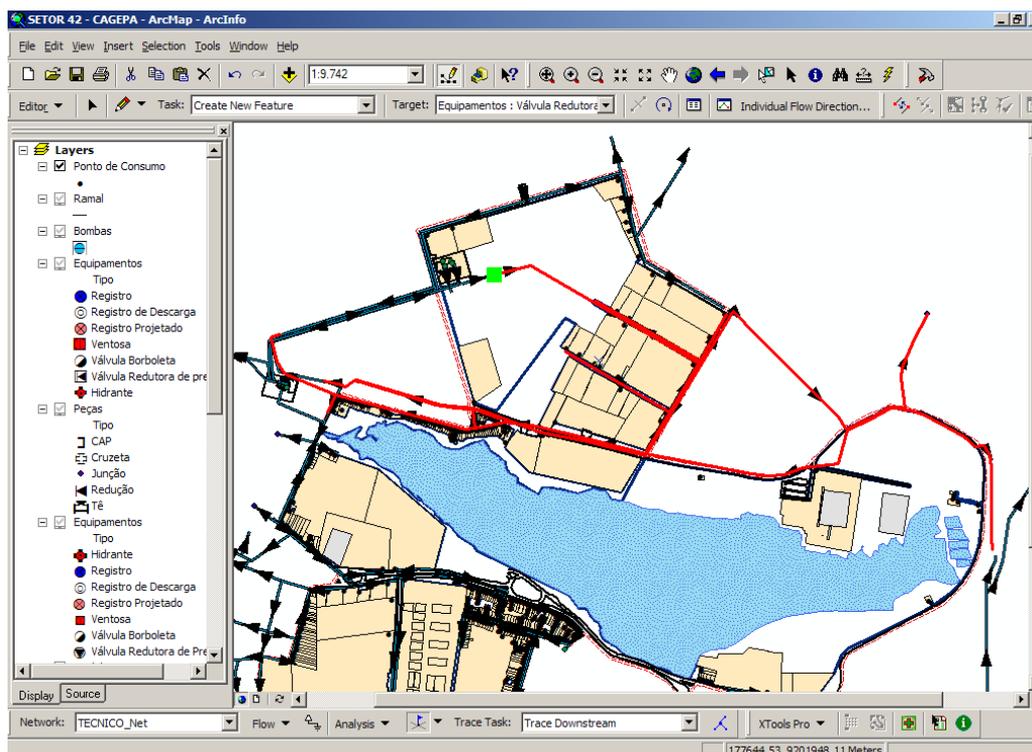


Figura 39 – Área de influência após instalação da válvula

#### 6.5.4 – Variação no Consumo de Água

Através do inter-relacionamento dos dados de consumo dos clientes com os dados mapeados correspondentes é possível criar cartas temáticas com a variação mensal de consumo de água potável.

Neste caso, o procedimento utilizado foi a geocodificação das totalizações dos consumos, para um período de quatro meses. O mapa resultante desse procedimento é mostrado na Figura 40. A partir daí, foi possível determinar locais críticos, caracterizados por consumos distantes da média naquele mês, tanto acima como abaixo. Obteve-se aqui resultados inovadores em termos de disponibilização de dados, além da caracterização da região e definição de indicadores de análise.

Os indicadores gerados são úteis para as equipes que realizam pesquisa em campo com o objetivo de adequar a quantidade de água distribuída. Este grupo realiza a análise de aumento no consumo e conseqüente modificação no perfil da

região e para subsidiar a tomada de decisão nas ações como remanejamento de trechos da rede de distribuição.

Também é Possível definir de áreas onde há alta ocorrência de casos de inadequação da capacidade nominal do hidrômetro, através do cruzamento das características técnicas do mesmo com o consumo lido nas ligações dos clientes, subsidiando possíveis ações de substituições. Como consequência desta análise, temos a minimização de erros de medição e o aumento do faturamento.

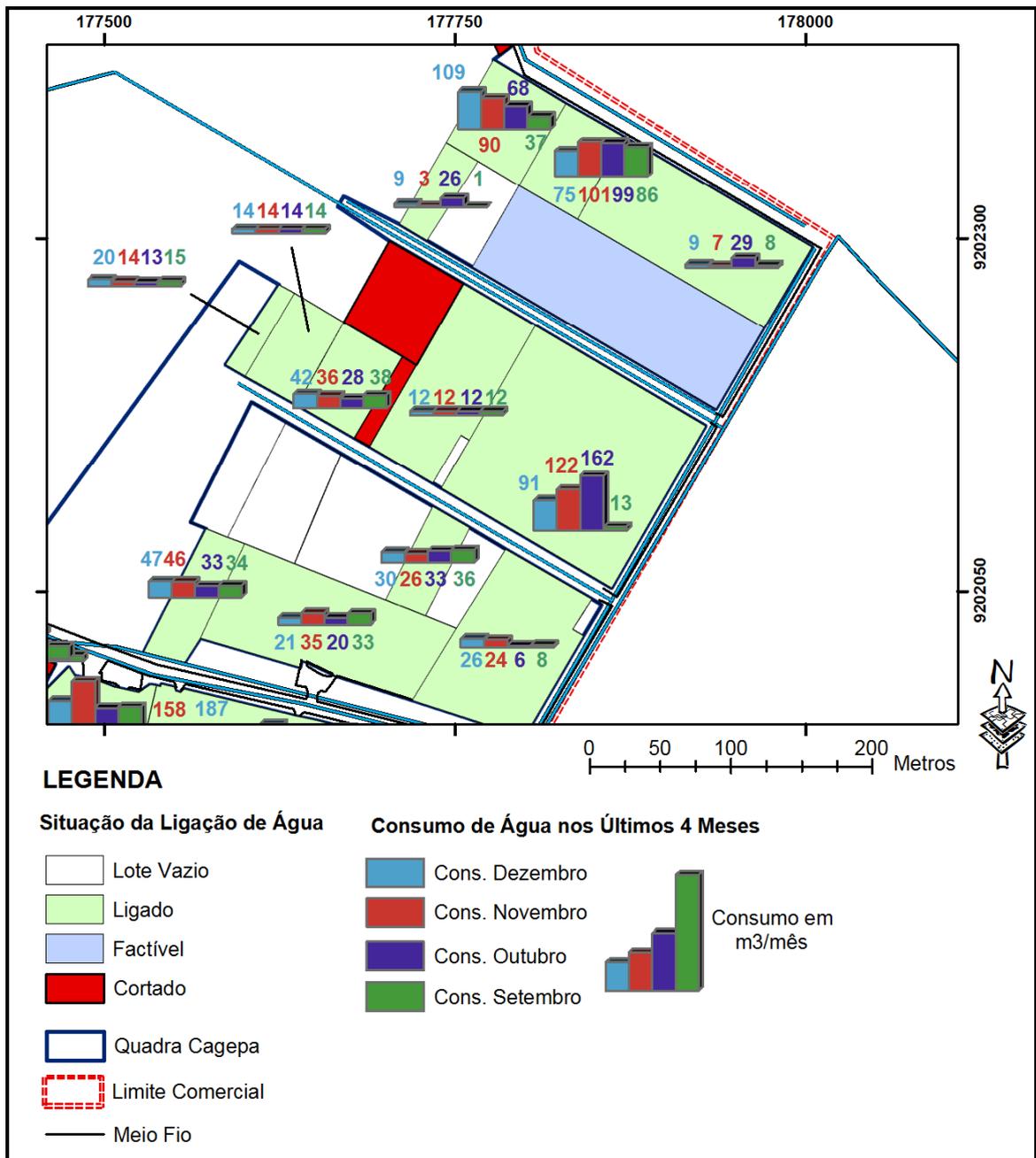


Figura 40 – Carta da Variação do Consumo de Água Potável

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÕES

A pesquisa partiu da premissa de que era possível através da Modelagem de Dados Espaciais, desenvolver um sistema aplicativo com base em SIG que estabelecesse uma metodologia para o monitoramento das redes de abastecimento de água potável. Durante o estudo foi possível observar que a tecnologia utilizada é eficaz no gerenciamento de operações das redes de abastecimento de água, podendo resultar na redução de perdas e no tempo total dos serviços de manutenção. Desta forma, afirma-se que a hipótese foi comprovada.

O mérito da Modelagem de Dados Espaciais desenvolvida não se aplica a solução de um caso particular, podendo ser adaptado para outras Companhias de saneamento, já que a utilização da linguagem UML possibilita a reutilização do modelo, servindo desta forma, como um modelo referencial para outras aplicações e refinamentos, bem como, para adaptações.

A utilização do programa computacional CASE no processo de desenvolvimento da aplicação fez com que o tempo de criação do modelo conceitual e implementação do modelo físico fossem reduzidos consideravelmente, facilitando a comunicação entre o projetista e o usuário final. Isto na prática, também implica na redução de custos de implantação do SIG.

Durante a pesquisa, constatou-se que a tomada de decisão sobre as manobras na rede feitas sem o auxílio de um SIG é um processo lento e de difícil análise, face à complexidade e a grande extensão das redes de abastecimento de água. Isto faz com que, os técnicos na maioria das vezes, utilizem mais a sensibilidade e o conhecimento empírico acumulado no dia-a-dia na definição das prioridades e direcionamento de recursos.

As condições avaliadas na Companhia mostraram o quanto a situação é informacional. Percebeu-se que há um grande avanço na disponibilização dos dados, bem como, em sua manutenção, passando o gerenciamento a ser tão

importante quanto à implantação de novas redes. Fato que, ocorre devido à disponibilização das informações que permitem maximizar o investimento financeiro nas redes existentes, podendo melhorar o seu funcionamento.

A correlação entre as reclamações de clientes com identificação de trechos da rede de abastecimento com vazamentos ou rompimentos, obtida de forma visual, traz um subsídio inovador para os setores operacionais, pela maior agilidade e eficiência que imprime às medidas corretivas, podendo fazer parte do dia-a-dia da Companhia de saneamento, inserindo-se nos seus processos rotineiros.

Além disso, o mapeamento temático como apoio das atividades comerciais representa uma inovação para a Companhia, pois as análises espaciais trazem a possibilidade de acompanhamento de indicadores comerciais assim estabelecidos, o que só é possível após a utilização dessa metodologia.

No entanto, para que estas simulações sejam bem sucedidas, é necessário que haja por parte da Companhia um comprometimento com a atualização da base cartográfica, que é o “Alicerce” do SIG. Se não houver uma estrutura para atualização periódica, perde-se a qualidade dos dados e dos resultados, e conseqüentemente, a credibilidade do sistema.

Diante do exposto, a presente pesquisa forneceu uma metodologia, que pode ser progressivamente automatizada, formulando diretrizes para coleta, cruzamento de dados e sua visualização, de acordo com critérios técnicos e específicos para as áreas de aplicação. As aplicações apresentadas mostram a viabilidade e o potencial que as Tecnologias da Geoinformação em termos de análises espaciais e de resultados para a gestão de redes.

Finalmente, conclui-se ter contribuído para a melhoria das atividades que envolvem o saneamento básico, através da inserção tecnológica e da disseminação de conhecimento, e com isso possibilitar uma melhor qualidade dos serviços prestados à população.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES

As perspectivas futuras sugeridas para continuidade desta pesquisa, são:

- Integração de modelos computacionais de simulação hidráulica com o SIG, possibilitando análises de perdas de carga, pressões e vazões. Além da identificação do sentido do fluxo de água nas redes malhadas, em decorrência da variação do consumo;
- avaliação de custo/benefício de implantação de um SIG em uma Companhia de Saneamento;
- aplicação de uma metodologia semelhante às redes de esgoto;
- disponibilização e integração do Banco de Dados Espaciais com outros órgãos prestadores de serviços, como corpo de bombeiros, Concessionárias de energia elétrica e telefonia, prefeituras, dentre outros.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ANAND S. **GIS in Design and Asset Management of Intermittent Water Distribution Systems**. In GISDevelopment.com Web Magazine. Disponível em <<http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/techgi0064.htm>>. Acesso em 03/01/2005.
- ARONOFF, S. **Geographic Information System: a Management Perspective**. WBL Publications. Ottawa, 1989.
- BEDARD, Y., **Principles of Spatial Database Analysis and Design**. In Geographic Information Systems. Longley, P, M. Goodchild, D. Maguire, and D. Rhind (Eds). New York: John Wiley and Sons. Vol 1. pp. 413-424, 1999.
- \_\_\_\_\_, LARRIVEE S., PROULX M-J., NADEAU M. **Modeling Geospatial Databases with Plug-ins for Visual Languages: a Pragmatic Approach and the Impacts of 16 Years of Research and Experimentations on Perceptory**. À publier dans LNCS et sera présenté au colloque ER2004, Shanghai, 8-12 novembre 2004.
- BHERING E. M. **Especificação de Restrições de Integridade Espacial no Modelo UML-GeoFrame**. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2002.
- BOOCH, G.; JACOBSON, I.; RUMBAUGH, J . **The unified modeling language user guide**. Addison-Wesley, 1998.
- BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Dissertação de Mestrado, 1997.
- BONHAM-CARTER, G. F., **Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS**. Tarrytown, N. Y., Pergamon, Elsevier Science Ltd., Computer Methods in the Geosciences, vol. 13, 398 p., 2ª ed. 1996.
- BRAVO F., F.; CERDA T, J., **Tecnologia SIG Aplicada a Sistemas de Transportes**. Actas VII Congreso Chileno de Ingenieria de Transporte, Santiago, Chile,1995.
- BRASIL, SUPERINTENDÊNCIA NACIONAL DE FGTS - SUFUG. GERÊNCIA NACIONAL DE ATIVO DO FGTS – GEAVO – **MANUAL DE FOMENTO SETOR PÚBLICO: Pró-moradia e Pró-saneamento**. Brasília - DF, 2001. 196p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press. Oxford, 1986.
- \_\_\_\_\_, e McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems**. Oxford University Press. Oxford, 1998.

CHEN, P.P.S. **The entity-relationship model: Towards a unified view of data.** **ACM Trans. Database System.** New York, n.1, 1976.

COAD, P. **Object Models: Strategies, Patterns, and Applications.** 2.ed. New Jersey: Yourdon Press, 1997.

COELHO, F. J. M., **Estudo de sistemas cadastrais de empresas de saneamento através de benchmarking.** Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2004.

COWEN D.J., **GIS Versus CAD Versus DBMS: What are the Differences?** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54: 1551-1554. 1988.

CROSBIE, P. **Reality of object-oriented GIS.** In: 31st ANNUAL CONFERENCE OF THE URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS ASSOCIATION – URISA'93, Atlanta, 1993. proceedings...v.1, p.188-199.

DACACH, N. G. **Sistemas Urbanos de Água.** Livros Técnicos e Científicos, 1975.

EGENHOFER, M. J., **Object-oriented GISs: the principles.** In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1995, São Paulo. Anais. p.175-203.

\_\_\_\_\_, HERRING, J., **A mathematical framework for the definition of topological relationships.** In: 4th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 1990. Proceedings...p.803- 813.

FEINBERG, D.; UHRICK, S. W., **Integrating GIS with Water and Wastewater Hydraulic Models.** In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE, 1997, San Diego, CA. Proceedings. July 08-11, 1997. [cited July 2000]. Disponível em <<http://www.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to200/pap199/p199.htm>>. Acesso em 5/10/2004.

FRANCO, S. C. C. da Silva de., **Cartografia digital como ferramenta de gestão operacional de redes de distribuição de água.** Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

FURLAN, J. D. **Modelagem de Objetos através da UML - The Unified Modeling Language.** São Paulo, Makron Books, 1998.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico.** Editora Universitária/UFPB, 2002.

GOODCHILD, M. F., B. O. Parks and L.T. Steyaert, **Environmental Modeling with GIS,** Oxford University Press ,New York, 1993.

GREGÓRIO C. R., **Projeto de Implantação de um Sistema de Informações Geográficas – O Caso SANED.** Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Engenharia Hidráulica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

- HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. **Logical data modelling for geographical applications**. International Journal of Geographical Information Systems, [S.1.], v.10, n.2, 1996.
- HARMON, JOHN E; ANDERSON, STEVEN J.; **Design and implementation of geographic information systems**. Hoboken, John Wiley, 2003.
- KÖSTERS, G. **GIS-Application Development with GeoOOA**. Int. Journal of GIS, 11(4), 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2000.519p.
- LARMAN, C. **Utilizando UML e Padrões: Uma introdução à análise e ao projeto orientados a objetos**. Porto Alegre - Bookman, 2000.
- LAURINI, Robert; THOMPSON, Derek. **Fundamentals of Spatial Information Systems**. San Diego: Academic Press, 1992.
- LISBOA, F. J. **Projeto Conceitual de Banco de Dados Geográficos através da Reutilização de Esquemas, utilizando Padrões de Análise e um Framework Conceitual**. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Ciência da Computação. Universidade do Rio Grande do Sul. São Paulo, 2001.
- \_\_\_\_\_, PEREIRA, M. DE A.; **Desenvolvimento de uma ferramenta CASE para o modelo UML-GeoFrame com suporte para padrões de análise**. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA - GEOINFO, 2002, Caxambú-MG. Anais. Caxambú: SBC, 2002.
- MARTÍNEZ-SOLANO, F. J., PÉREZ-GARCÍA, R. & IGLESIAS-REY, P.L. **Water Mains Creation Using GIS**. In 5th AGILE Conference on Geographical Information Science, Palma. 2002. Disponível em: <<http://agile.isegi.unl.pt/Conference/Mallorca2002/Papers/pdf/posters/>>. Acesso em 23/07/2004.
- MOURA, A. C. M., **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte. Ed. da autora, 2003.
- MOREHOUSE, Scott. The **ARC/INFO Geographic Information System**. Computers and Geosciences, London, v.18, n.4, p.435-441, 1992.
- NEWELL, R. et al. **Temporal GIS - modelling the evolution of spatial data in time**. Computers & Geosciences, v18, n.4, p.427-434, 1992.
- PEUQUET, A., MARBLE, D., **Introductory Readings in Geographical Information Systems**. U.S.A. 1990. 388 pp.
- PINET, F., LBATH, A. **An Algorithm for Stereotype Deduction in UML-Based Formalism and its Application in Geographic Information Systems**. in IEEE

Symposium on Visual/Multimedia Approaches to Programming and Software Engineering, HCC, Italy, 2001.

PORTO, R. M. de. **Hidráulica Básica**. EESC/USP. 1998.

RATIONAL SOFTWARE CORPORATION. **Mapping object to data models with the UML**. 7.0. Santa Clara:Rational Software Corporation, 2000. Disponível em: <<http://www.rational.com/products/whitepapers/101576.jsp>>. Acesso em:23 de Setembro de 2004.

RIGAUX, P.; SCHOLL, M., VOISARD, A., **Spatial databases with application to GIS**. San Francisco: Morgan Kaufman Publishers, 2002.

RUMBAUGH, J; BLAHA, M; PREMERLANI, W; EDDY, F; LORENSEN, W. **Modelagem e projeto baseados em objetos**. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1994. 652p.

SÁ, L. A.C.M. de., **Modelagem de Dados Espaciais para Sistemas de Informação Geográfica: Pesquisa na Emergência Médica**. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

\_\_\_\_\_ e SILVA, Irineu da. **O Estudo da Emergência Médica Sob a Ótica do Geoprocessamento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO. 3, 1998, Florianópolis, SC. Anais do III Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 2000.

SILVA, Alberto M. R. da. VIDEIRA, C. A. E., **UML Metodologias e Ferramentas CASE**. Lisboa, Editora Centro Atlântico, Portugal, 2001.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2001**. Brasília, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR. Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA., 2002.

SMITH, T. R., MENON, S., STAR, J. L.; ESTES, J. E., **Requirements and Principles for the Implementation and Construction of Large-Scale Geographical Information Systems**. International Journal of Geographical Information Systems. 1:13-32, 1987. Palm Springs, California Proceedings. May 22-26, 1995. [cited July 2000]. Disponível em: <<http://pasture.ecn.purdue.edu/~aggrass/esri95/to100/p052.html>>. acesso em: 18/11/2004.

SCHULZ, J. L.; McLAUGHLIN, J. D., **The City of Glendale: Coming of Age in a GIS World - Cooperative Development of an Integrated GIS-Pipe Network Hydraulic Model** [on line]. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE, 15th, 1995,

THAPA, K., BOSSLER, J., **Accuracy of spatial data used in Geographic Information Systems**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 58, nº. 6, junho/1992, ASPRS, p.835 - 841.

\_\_\_\_\_, BURTCH R. C., **Issues of Data Collection in GIS/LIS, Technical Papers, 1990 ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 3, GIS LE, pp. 271-283. 1990.**

TAPTAN, H. and M.O. ALTAN., **Spatial Data Quality**, Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days, June 1-4, Istanbul, pp.15-30. 1990.

TOMLIN, D., **Geographic Information Systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1990.

WILLIAMSON, I. P.. **Urban Land Information Systems**. Beijing, 1992. Disponível em: <[http://www.sli.unimelb.edu.au/research/publications/IPW\\_online\\_publ.html](http://www.sli.unimelb.edu.au/research/publications/IPW_online_publ.html)>. Acesso em: 7.12.2004.

WORBOYS, M. F.. **Object-oriented approaches to geo-referenced information**. International Journal of Geographical Information Systems, London, v.8, n.4, p.385-399, 1994.