

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**MODELAÇÃO MATEMÁTICA E SISTEMA DE  
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE AO  
GERENCIAMENTO DE SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA - SUBSISTEMA  
COOPHEMA DE CUIABÁ/ MT**

**VILIDIANA MORAES MOURA**

**Orientadora: ELIANA BEATRIZ NUNES RONDON LIMA**

**Cuiabá - MT, Julho / 2006**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**MODELAÇÃO MATEMÁTICA E SISTEMA DE  
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE AO  
GERENCIAMENTO DE SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA – SUBSISTEMA  
COOPHEMA DE CUIABÁ/ MT**

**VILIDIANA MORAES MOURA**

*Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Física e Meio  
Ambiente da Universidade Federal de  
Mato Grosso, como parte dos requisitos  
Para obtenção do título de Mestre em  
Física e Meio Ambiente.*

**Orientadora: ELIANA BEATRIZ NUNES RONDON LIMA**

**Cuiabá, MT, Julho / 2006**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MOURA, VILIDIANA MORAES

M275c

Modelação Matemática e Sistema de Informação Geográfica como suporte ao gerenciamento de sistema de abastecimento de água – Subsistema Coophema de Cuiabá / MT / Vilidiana Moraes Moura. -- Cuiabá, MT 2005 / Instituto de Ciências Exatas e da Terra.

xvii, 131 f. : il.; 29 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, 2005.

Orientadora: Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima

Bibliografia

1. Gerenciamento; 2. Sistema de Abastecimento; 3. Simulação  
I. Título. II. Cuiabá – Instituto de Ciências Exatas e da Terra.

CDU 595.13:633.73

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA**  
**Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Título: MODELAÇÃO MATEMÁTICA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA COMO SUPORTE AO GERENCIAMENTO DE SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA – SUBSISTEMA COOPHEMA DE CUIABÁ / MT**

**Autora: VILIDIANA MORAES MOURA**

Dissertação defendida e aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 200\_\_\_\_, pela  
comissão julgadora:

---

Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima

Orientadora

(Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT - Cuiabá)

---

Peter Zeilhofer

Examinador Interno

(Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT - Cuiabá)

---

Luciana Sanches

Examinadora Interna

(Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT - Cuiabá)

---

Heber Pimentel Gomes

Examinador Externo

(Universidade Federal da Paraíba – UFPB – João Pessoa)

## **DEDICATÓRIA**

**“Dedico este trabalho a Deus, por ter sempre me concedido forças nos momentos difíceis e em cada amanhecer para continuar a caminhada da vida”.**

## AGRADECIMENTOS

- Aos orientadores, Doutora Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima e ao Doutor Peter Zeilhofer, exemplos de profissionalismo, competência e dedicação, pela orientação segura, incentivo, confiança demonstrada no transcorrer destes anos.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – National Counsel of Technological and Scientific Developmente (CNPq), pelo apoio através da bolsa de pesquisador, para que fosse possível me dedicar exclusivamente à pesquisa.
- Ao Programa de Pós-Graduação por ter contribuído para minha formação em Física e Meio Ambiente.
- Aos Professores Paraná, Nicolau, Marta, Serginho, Chico e Luciana pela contribuição.
- Ao meu pai Ademarq Goularte Moura, no qual sempre me espelhei e recebi exemplo de honestidade e responsabilidade, pois a educação repassada foi fundamental para me tornar a pessoa que sou hoje.
- A minha mãe, que mesmo longe sempre fez de tudo para estar perto de mim nos momentos mais importantes de minha vida. A sua presença é constante em meu coração.
- A minha tia Dorcilene Goularte Moura pelo seu exemplo de competência e contribuição em meus estudos, o que me proporcionou várias oportunidades que não foram desperdiçadas para meu crescimento como pessoa e profissional.
- Ao meu esposo José Roberto de Souza por seu permanente carinho, incentivo, acompanhamento e participação em todos os momentos.
- Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, que me concedeu condições para que eu pudesse dedicar-me ao mestrado.

- Aos funcionários da SANECAP (Jesse, Marcos Saba, Mauro, Paulo, Alissa, Marise, Evaristo e Jaime), que contribuíram para que meu trabalho se realizasse.
- Ao Doutor Alexandre Kepler Soar e ao Eng<sup>o</sup>. Sanitarista e Ambiental Ayslan Fingler Romeu Bortolás por terem sempre respondido meus e-mails's, me dando respostas sempre muito claras sobre minhas dúvidas.
- Ao Professor José Holanda Campelo Junior, pelo exemplo de profissional competente que muito admirei no período das disciplinas.
- A Suzy pela amizade e aos os momentos agradáveis que passamos no período de realização desta dissertação.
- A todas as pessoas que mencionei e àquelas que não mencionei, meus mais sinceros agradecimentos!

**“Seja você mesmo as mudanças que quer ver no mundo”.**

***M. Gandhi***

## ÍNDICE DO TEXTO

|                       |  |          |
|-----------------------|--|----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | i  |          |
| LISTA DE TABELAS..... | v  |          |
| RESUMO.....           | vi   |          |
| ABSTRACT.....         | vii  |          |
| APRESENTAÇÃO.....     | viii   |          |
| <b>1</b>              | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b> |
| <b>2</b>              | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                     | <b>3</b> |
| 2.1                   | Sistema de abastecimento de água.....                                  | 3        |
| 2.2                   | Partes constituintes do sistema de abastecimento de água .....         | 8        |
| 2.3                   | Modelos Simuladores .....  | 10       |
| 2.3.1                 | Capacidade de Modelação Hidráulica .....                               | 16       |
| 2.3.2                 | Passos da Modelagem .....  | 17       |
| 2.3.3                 | Esqueletização.....  | 17       |
| 2.3.4                 | Métodos de Simulação .....   | 18       |
| 2.3.5                 | Aspectos Relevantes.....   | 19       |
| 2.3.6                 | Dados de Calibração.....   | 19       |
| 2.4                   | Determinação de consumos e caudais para simulação .....                | 22       |
| 2.4.1                 | Quantificação de Caudais e Consumos num Sistema de Abastecimento ..... | 22       |
| 2.4.2                 | Especificação dos Consumos.....  | 25       |
| 2.4.3                 | Consumo Base.....  | 26       |
| 2.5                   | Métodos para distribuição espacial do consumo base pelos<br>nós .....  | 27       |
| 2.5.1                 | Métodos Baseados na Análise Cartográfica.....                          | 28       |
| 2.5.1.1               | <i>Aspectos Gerais</i> .....   | 28       |
| 2.5.1.2               | <i>Método das Áreas de Influência</i> .....                            | 29       |
| 2.6                   | Sistema de informação geográfica.....                                  | 31       |
| 2.6.1                 | Características Básicas .....  | 33       |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.6.2     | Anatomia Interna de SIG.....  | 34        |
| 2.6.3     | Informação Geográfica em SIG's.....                                       | 35        |
| 2.6.4     | Fontes de Dados Espaciais .....   | 36        |
| 2.6.5     | Estruturas da Informação.....   | 36        |
| 2.6.6     | Manipulação dos Dados em SIG's .....                                      | 37        |
| 2.6.7     | Qualidade dos Dados em SIG's.....   | 38        |
| 2.6.8     | Potencialidades e Benefícios Propostos pelo uso do SIG .....              | 40        |
| 2.6.9     | O uso do SIG no Saneamento.....   | 42        |
| 2.6.10    | Breve Descrição da Base de Dados .....                                    | 43        |
| <b>3</b>  | <b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>   | <b>45</b> |
| 3.1       | Caracterização geral e localização.....                                   | 45        |
| 3.1.1     | Caracterização da Companhia de Abastecimento de Água de Cuiabá .....      | 45        |
| 3.1.2     | Sistemas de Abastecimento Existentes em Cuiabá .....                      | 46        |
| 3.1.3     | Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água CoopHEMA .....         | 47        |
| 3.1.4     | Componentes Físicos do Sistema .....                                      | 50        |
| <b>4</b>  | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>55</b> |
| 4.1       | Materiais.....  | 55        |
| 4.1.1     | Hardware e Software.....  | 55        |
| 4.1.2     | Imagem de Satélite.....   | 55        |
| 4.1.3     | Mapas Cadastrais .....  | 56        |
| 4.1.4     | Equipamentos para medição de pressão e vazão.....                         | 56        |
| 4.1.5     | Modelo Simulador EPANET 2.0.....  | 59        |
| 4.2       | Métodos .....   | 62        |
| 4.2.1     | Modelação Matemática .....  | 62        |
| 4.2.1.1   | <i>Digitalização da rede e alimentação do programa com os dados .....</i> | <i>62</i> |
| 4.2.1.2   | <i>Atributos dos Elementos da Rede.....</i>                               | <i>64</i> |
| 4.2.1.2.1 | <i>Coeficiente de rugosidade .....</i>                                    | <i>64</i> |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.2.1.2.2 | Cotas Topográficas .....   | 64        |
| 4.2.1.2.3 | Estimativa de consumos nos nós .....   | 65        |
| 4.2.1.2.4 | Coefficientes De Correção (K1 E K2).....   | 65        |
| 4.2.2     | Sistema de Informação Geográfica.....  | 66        |
| 4.2.2.1   | <i>Mapas Cadastrais</i> .....  | 66        |
| 4.2.3     | Medição de pressão em campo para validação .....   | 67        |
| 4.2.3.1   | <i>Escolha dos Pontos de Monitoramento de Pressão Necessárias Para Calibração</i> .....              | 67        |
| 4.2.3.2   | <i>Monitoramento da Vazão na Saída do Sistema de Abastecimento Necessários para Calibração</i> ..... | 70        |
| 4.2.4     | Calibração .....   | 70        |
| <b>5</b>  | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>71</b> |
| 5.1       | Sistema de informação geográfica.....  | 71        |
| 5.1.1     | Validação dos dados cadastrais .....   | 71        |
| 5.1.2     | Distribuição Espacial dos Dados Disponibilizados Pelos Mapas de Rede e Rotas                         | 77        |
| 5.1.2.1   | <i>Distribuição Espacial dos Sistemas de Abastecimento de água em Cuiabá</i>                         | 78        |
| 5.1.2.2   | <i>Distribuição Espacial da Rede de Distribuição</i> .....   | 80        |
| 5.1.2.3   | <i>Cotas Altimétricas</i> .....  | 83        |
| 5.1.2.4   | Distribuição Espacial da Divisão dos Setores .....   | 84        |
| 5.1.2.5   | <i>Distribuição Espacial das Subdivisões dos Setores em Rotas</i> .....                              | 85        |
| 5.1.2.6   | <i>Distribuição Espacial dos Polígonos de Influência de Cada Nó</i> .....                            | 86        |
| 5.1.2.7   | <i>Distribuição Espacial do Diâmetro das Tubulações</i> .....  | 89        |
| 5.1.3     | Distribuição Espacial dos Dados Disponibilizados pelas Planilhas Comerciais da SANECAP .....         | 94        |
| 5.2       | modelagem matemática.....  | 104       |
| 5.2.1     | Determinação da demanda por nó .....   | 105       |
| 5.2.2     | Determinação do Histograma de Consumo para o Sistema de Abastecimento CoopHEMA .....                 | 105       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.3    | Modelação da parte norte do sistema atendido pela bomba 1195 ..... | 106        |
| 5.2.4    | Calibração .....   | 115        |
| 5.2.5    | Considerações sobre o sistema em estudo .....                      | 117        |
| 5.2.6    | Proposta de Alteração.....   | 118        |
| 5.2.7    | Pressões na Rede de Distribuição .....                             | 120        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....</b>                             | <b>122</b> |
| <b>7</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                             | <b>125</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1- Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com identificação dos componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal.<br>..... | 5  |
| Figura 2 – Fases de desenvolvimento dos serviços de abastecimento de água.....   | 6  |
| Figura 3 - Atribuição dos consumos na conduta aos nós inicial e final (a linha tracejada marca o ponto médio da conduta) .....   | 26 |
| Figura 4 - Caudal total fornecido $Q$ e consumos-base $q_1 - q_7$ , numa rede de distribuição<br>.....   | 26 |
| Figura 5 - Sistema de Informação de Geográfica (SIG) do Sistema de Abastecimento Coophema.....   | 32 |
| Figura 6 - Localização Espacial dos Bairros incluídos no SAA Coophema .....  | 48 |
| Figura 7 – Reservatório Apoiado de Distribuição do Sistema de Abastecimento Coophema.....  | 50 |
| Figura 8 - Estação Elevatória de Água Tratada do Sistema de Abastecimento Coophema<br>.....  | 50 |
| Figura 9 - Visualização da Área de Influência de cada Bomba .....  | 51 |
| Figura 10 - Pressurizadora da parte sul do sistema (booster).....  | 52 |
| Figura 11 - Captação de Água Bruta no Rio Cuiabá (Tipo Flutuante).....   | 52 |
| Figura 12 - Visualização espacial da hidrografia do local de estudo e localização da captação de água e estação de tratamento .....  | 53 |
| Figura 13 - Perda na lavagem de decantadores .....   | 54 |
| Figura 14 - Perda de Água no Reservatório.....   | 54 |
| Figura 15 - Medidor de Vazão da Saída das Bombas .....   | 56 |
| Figura 16 - Detalhe do Gráfico após 24 horas de medição na bomba 01 (Parte Norte do Sistema).....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 17 - Detalhe do Gráfico após 24 horas de medição na bomba 02 (Parte Sul do Sistema).....   | 57 |
| Figura 18 - Troca de Folha de medição .....   | 58 |
| Figura 19 - Registrador para Medição de Pressão em cavalete .....   | 58 |
| Figura 20 - Manômetro acoplado no cavalete.....   | 59 |
| Figura 21 - Programa EPANET 2.0, versão em português .....  | 60 |
| Figura 22 - Esquema geral da rede de distribuição de água do sistema Coophema digitalizada no programa ARCVIEW 3.2 através da extensão GISRED 1.0. .... | 62 |
| Figura 23 - Entrada de dados das tubulações e nós respectivamente através da extensão GISRed do programa EPANET. ....                                   | 63 |
| Figura 24 - Mapa de Rota .....  | 67 |
| Figura 25 - Aquisição de dados de pressão em cavaletes .....  | 68 |
| Figura 26 - Localização espacial dos pontos (nós) de monitoramento de pressão .....   | 69 |
| Figura 27 - Distribuição Espacial das Ligações de água no Sistema de Abastecimento Coophema.....  | 72 |
| Figura 28 - Inconsistência encontrada em parte do Sistema de Abastecimento Coophema .....   | 74 |
| Figura 29 - Entrada de dados.....   | 75 |
| Figura 30 - Informação Inconsistentes de Localização das Ligações.....  | 76 |
| Figura 31 - Distribuição espacial dos sistemas de abastecimento de água em Cuiabá ....  | 78 |
| Figura 32 - Localização do Sistema de Abastecimento Coophema em Cuiabá.....   | 79 |
| Figura 33 - Distribuição espacial do Sistema de Abastecimento Coophema .....  | 80 |
| Figura 34 - Detalhe 1.....  | 81 |
| Figura 35 - Detalhe 2.....  | 82 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 36 - Distribuição Espacial das cotas altimétricas do Sistema de abastecimento Coophema.....                 | 84  |
| Figura 37 - Distribuição Espacial da Divisão do Sistema de abastecimento por Setores.                              | 84  |
| Figura 38 - Distribuição Espacial da Subdivisão dos Setores em Rotas .....   | 85  |
| Figura 39 - Polígonos Gerados pelo Método de Thiessen .....  | 86  |
| Figura 40 - Problemas Encontrados no Método de Thiessen .....  | 87  |
| Figura 41 - Polígonos de consumo de água no nó .....   | 88  |
| Figura 42 - Distribuição espacial do diâmetro das tubulações .....   | 91  |
| Figura 43 - Distribuição espacial do tipo de material das tubulações .....   | 92  |
| Figura 44 - Visualização espacial do arruamento que compõe o sistema de Abastecimento Coophema.....                | 93  |
| Figura 45 - Características da ligação selecionada no bairro Gramado.....  | 94  |
| Figura 46 - Distribuição espacial das categorias de consumo .....  | 95  |
| Figura 47 - Distribuição espacial do tipo de serviço prestado.....   | 96  |
| Figura 48 - Distribuição espacial da situação do serviço prestado.....   | 97  |
| Figura 49 - Distribuição espacial da situação dos hidrômetros .....  | 98  |
| Figura 50 - Ligação Sem Hidrômetro no Bairro Coophema .....  | 99  |
| Figura 51 - Ligação Com Hidrômetro no Bairro Coophema .....  | 99  |
| Figura 52 - Inadimplência no Sistema Coophema.....   | 100 |
| Figura 53 - Incidência de Reparos.....   | 101 |
| Figura 54 - Imagem de Satélite QuickBird de parte do Sistema de Abastecimento Coophema.....                        | 102 |
| Figura 55 - Imagem de Satélite QuickBird de parte do sistema de Abastecimento Coophema com maior aproximação ..... | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 56 - Histograma de Consumo utilizado no Padrão Temporal .....  | 105 |
| Figura 57 - Área de Influência das bombas .....   | 106 |
| Figura 58 - Pressão Observada para o nó 588.....  | 107 |
| Figura 59 - Pressão Observada para o nó 524.....  | 107 |
| Figura 60 - Pressão Observada para o nó 447.....  | 108 |
| Figura 61 - Pressão Observada para o nó 245.....  | 108 |
| Figura 62 - Pressão Observada para o nó 136.....  | 109 |
| Figura 63 - Pressão Observada para o nó v989 .....  | 109 |
| Figura 64 - Pressão Simulada e Observada para o nó 588.....   | 110 |
| Figura 65 - Pressão Simulada e Observada para o nó 524.....   | 110 |
| Figura 66 - Pressão Simulada e Observada para o nó 447.....   | 111 |
| Figura 67 - Pressão Simulada e Observada para o nó 245.....   | 111 |
| Figura 68 - Pressão Simulada e Observada para o nó 136.....   | 112 |
| Figura 69 - Pressão Simulada e Observada para o nó v989 .....   | 112 |
| Figura 70 – Vazão Simulada e Observada na Saída do Reservatório.....  | 113 |
| Figura 71 – Correlação para os valores de pressão.....  | 114 |
| Figura 72 – Comparação de Valores Médios de Pressão.....  | 115 |
| Figura 73 – Localização do Sistema com Baixa Pressão.....   | 117 |
| Figura 74 – Cota topográfica do sistema (A) e trajetória atual da água (B) quando é<br>direcionada ao bairro Nossa S. Aparecida (forma de U)..... | 118 |
| Figura 75 – Localização da Alteração Proposta.....  | 118 |
| Figura 76 – Pressões atuantes em alguns nós no bairro Nossa S. Aparecida antes da<br>alteração .....  | 119 |

Figura 77 – Pressões atuantes em alguns nós no bairro Nossa S. Aparecida depois da alteração ..... 119

Figura 78 – Pressões Mínimas (A) e Máximas (B) na rede de distribuição ..... 121

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Bairros atendidos pelo Sistema de Abastecimento CoopHEMA com seus respectivos números de ligação ..... | 47 |
| Tabela 2 - Distribuição em percentagem por tipo de categoria de consumo .....                                     | 49 |
| Tabela 3 - Divisão do Sistema de abastecimento por setor e bairros .....  | 49 |
| Tabela 4 - Localização dos pontos monitorados .....   | 70 |
| Tabela 5 - Resumo de características do Sistema CoopHEMA .....  | 90 |

## RESUMO

**MOURA, V. M. *Modelação Matemática e Sistema de Informação Geográfica como Suporte ao Gerenciamento de Sistema de Abastecimento de Água – Sistema CoopHEMA de Cuiabá/MT. Cuiabá, 2005. 131p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.***

O sistema de abastecimento de água pode ser considerado uma das infra-estruturas mais importantes de um núcleo urbano. No entanto o gerenciamento e planejamento das redes de abastecimento muitas vezes seguem critérios empíricos e primitivos, tornando assim o gerenciamento mais complexo em função da grande dispersão da informação relativo ao sistema de abastecimento. Em vista dos benefícios da boa gestão dos Sistemas de Abastecimento de água, este estudo buscará, através do Sistema de Informação Geográfica e da Modelagem Matemática, dar suporte à tomada de decisões para análise do sistema de abastecimento existente e previsão do comportamento hidráulico, em face de diferentes situações passíveis de ocorrer. Pois o conhecimento adquirido pode minimizar a dispersão da informação, e beneficiar no uso eficiente do sistema existente e o atendimento das necessidades dos usuários de forma satisfatória, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo. Os resultados demonstraram que podem ser produzidas informações para melhoria do conhecimento geral do sistema de abastecimento, pois o que ocorre é a grande dispersão de informação dentro da empresa gestora.

Palavras Chaves: 1. Gerenciamento; 2. Sistema de abastecimento; 3. Simulação.

## ABSTRACT

MOURA, V. M. *Mathematical modelling and System of Geographical Information as Support to the Administration of System of Water supply - System CoopHEMA of Cuiabá/MT. Cuiabá, 2005. 131p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.*

The system of provisioning can be considered one of the most important infrastructures of an urban nucleus. However the administration and planning of the nets of provisioning many times follow empiric and primitive criteria, turning like this the most complex administration in function of the great dispersion of the relative information to the system of provisioning. In view of the importance of the preservation of the natural resources (water), this study will look for through the System of Geographical Information and of the Mathematical Modelling, to give support to the socket of decisions for analysis of the system of existent provisioning and forecast of the hydraulic behavior, in face of different susceptible to situations to happen. Because the acquired knowledge can minimize the dispersion of the information, and to benefit in the efficient use of the existent system and the service of the users' in a satisfactory way needs, so much of the point of view quantitative as qualitative. The results demonstrated that information can be produced for improvement of the general knowledge of the system of provisioning, because the one that happens is the great dispersion of information inside of the company manager.

Key words: 1Administration; 2. system of provisioning; 3. simulation.

## APRESENTAÇÃO

Muitos são os caminhos para o desenvolvimento de uma dissertação ou tese. A escolha coerente não é aquela que atenda aos anseios pessoais do autor ou orientador, mas sim aquela que poderá servir de ponto de partida para o desenvolvimento de um assunto, esteja ele ou não na atualidade ou sirva de continuidade para outro. E não apenas isso, mas escolher um tema que possa ser colocado em prática, academicamente ou profissionalmente, logo após a conclusão dos trabalhos é ainda uma tarefa mais difícil. Neste caso, vale a experiência acadêmica do autor, adquirida ao longo da pesquisa bibliográfica, das aulas assistidas ao longo do período da graduação e pós-graduação e, em certos casos, a experiência adquirida conjuntamente no cotidiano.

Para escolha do tema na área de Sistema de Abastecimento de Água, foram feitas várias considerações pela autora e orientadora, as quais destacam-se:

1. A atual situação que se encontra o Brasil em termos de abastecimento de água e a crescente demanda por esse recurso natural escasso. Pesquisas já mostraram que apesar do Brasil ser uma das maiores reservas de água doce do mundo, o seu acesso depara-se com a situação espacial do recurso frente à localização da concentração da população. Isto torna a alocação de recursos, através de instrumentos legais e de medidas técnico-operacionais para os diversos tipos de uso (abastecimento, agricultura, indústria, geração de energia elétrica, lazer e turismo), desigual entre os estados e/ou regiões e de difícil decisão.
2. Os dados dos sistemas de abastecimento existem, mas a análise destes dados para confecção de relatórios de situação dos sistemas se torna difícil em função da grande quantidade de dados. A manipulação destes dados requer o conhecimento de utilização de softwares para manipulação de grande quantidade de dados para visualização espacial das situações anteriores e atuais.
3. Ainda é de pouca expressão no Brasil o uso de softwares (modelos matemáticos) destinados à quantidade e / ou à qualidade de água, seja na

operação, controle e / ou planejamento de sistemas produtores de abastecimento público;

4. O conhecimento de que é a população quem muitas vezes sustenta as pesquisas de mestrado e doutorado nas instituições públicas, merecendo o devido retorno.

Através deste estudo, é desejo da autora, que futuramente o presente trabalho possa servir como suporte no desenvolvimento de ferramentas para utilização em sistemas semelhantes, sejam elas destinadas a qualquer tipo de uso para gerenciamento de sistemas de abastecimento de água.

# 1 INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água é constituído por um conjunto obras, com a função de disponibilizar água potável aos núcleos urbanos. Em função disso pode ser considerada uma das obras mais importantes de uma cidade.

Em vista disto, o objetivo dos responsáveis pelo sistema de abastecimento é disponibilizar a água em quantidade e pressão suficiente, com boa qualidade e sem interrupções. No entanto, a concentração de esforços na construção, relegou muitas vezes para segundo plano de prioridades as questões ligadas ao planeamento, à operação e à manutenção dos sistemas de abastecimento de água.

Devido a isso muitas são as deficiências no que se refere ao gerenciamento e planeamento do sistema de abastecimento como um todo, exigindo dos gestores e operadores muito conhecimento do sistema e das condições de funcionamento face às solicitações atuais e futuras, se tornando uma tarefa complexa. A falta de conhecimento das características e da funcionalidade do sistema, por exemplo, ocasiona elevadas percentagens de perda de água, que muitas vezes podem ser evitadas.

Justifica-se, deste modo, o desenvolvimento de novas metodologias que visem à reabilitação e conhecimento destes sistemas buscando o funcionamento adequado dos mesmos, dentro de padrões técnicos satisfatórios e de condições que gerem menor impacto social e ambiental. Além disso, é importante que se levem em consideração o aumento da confiabilidade e segurança dos serviços prestados.

Com a utilização de técnicas e ferramentas computacionais espera-se dar auxílio nos processos de análise, operação, planejamento e tomada de decisão em sistema de abastecimento de água, dando assim suporte para a solução dos complexos problemas de planejamento.

Deste modo o objetivo geral é avaliar a aplicabilidade de Sistema de Informação Geográfica para otimizar a visualização espacial de dados e a modelagem matemática para simulação das características hidráulicas na rede de distribuição e para dar suporte a percepção e análise do conjunto das infra-estruturas existentes. Dentro do presente objetivo geral, os objetivos específicos se subdividem em:

- Elaborar mapas temáticos para apresentação de diagnóstico do Sistema de Abastecimento CoopHEMA;
- Mostrar a relevância do estudo para a companhia gestora;
- Aplicar e avaliar a utilização de software de modelagem hidráulica, em especial o EPANET 2.0 no Sistema de Abastecimento CoopHEMA;
- Verificar a necessidade de Calibração do Sistema de Abastecimento CoopHEMA;
- Propor alterações na rede de distribuição de água existente, caso seja necessário.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Na revisão bibliográfica será abordado temas e conceitos do funcionamento do sistema de abastecimento de água, apresentação do software simulador EPANET 2.0 e do Sistema de Informação Geográfica (ARCVIEW 3.2 ESRI), mostrando os benefícios como forma de melhoria da qualidade do gerenciamento de sistema de abastecimento, visualização espacial de dados existentes e no desenvolvimento de soluções técnicas e de ações para reparar, prevenir e minimizar a má utilização dos recursos hídricos.

### **2.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Entende-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público. Estes sistemas são compostos, de uma maneira geral, pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais, (GOMES, 2004).

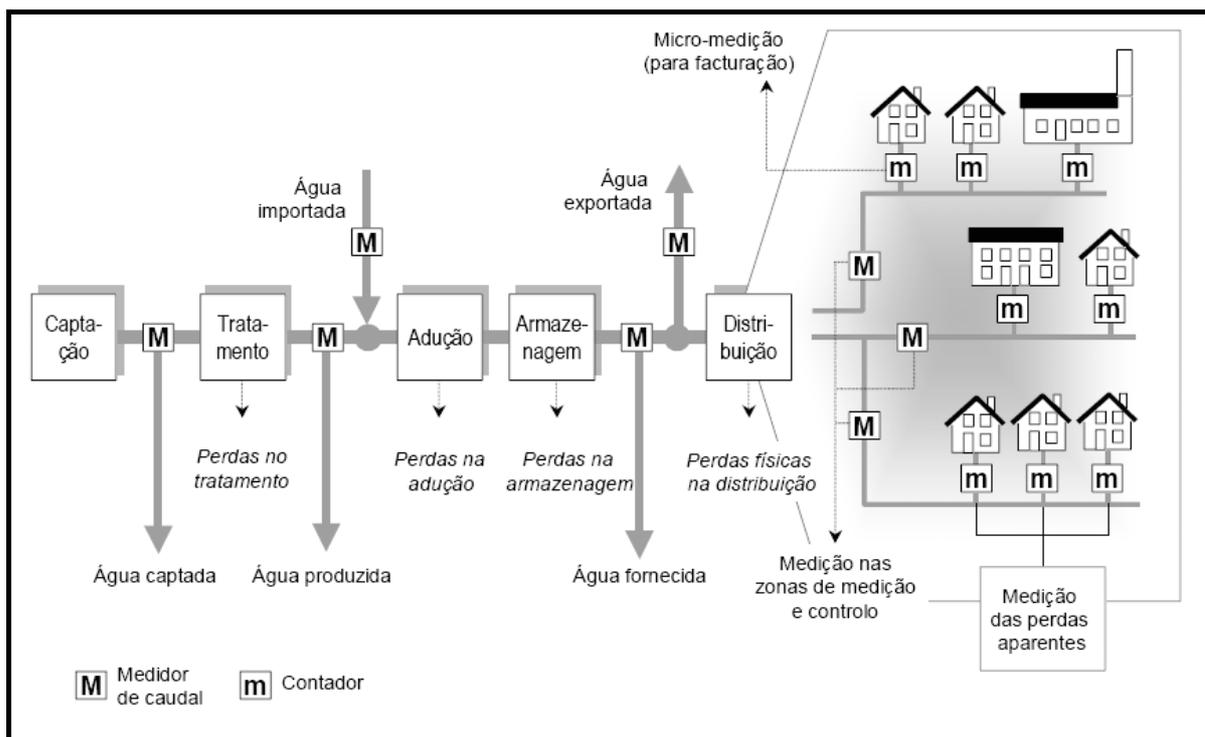
Em vista da importância de um adequado sistema de abastecimento de água, grandes esforços vem sendo feitos, particularmente nas últimas décadas do século 20, com elevados investimentos, de modo a se levar água de boa qualidade ao maior número possível de usuários, especialmente dos países em desenvolvimento, onde a situação de abastecimento de água é menos favorável. No Brasil um imenso progresso em relação à implantação de sistemas de abastecimento de água se deu nas décadas de 1970 e 1980 com a implementação do PLANASA – Plano Nacional do Saneamento –

que permitiu ao país atingir níveis de atendimento de cerca de 90% da população urbana (TSUTIYA, 2005).

Hoje, nos centros urbanos mais desenvolvidos, as maiores deficiências observadas em sistemas de abastecimento de água se devem principalmente a deterioração dos sistemas mais antigos, especialmente na parte de distribuição de água, com tubulações antigas apresentando freqüentes problemas de rompimentos e de vazamentos de água, ou mesmo a falta de abastecimento de áreas urbanas que apresentam rápido e desordenado crescimento. Assim, para esses centros urbanos, as necessidades de adequações dos serviços de abastecimento de água estão ligadas à reabilitação de redes de transporte e distribuição de água mais antiga, bem como a construção e ampliação dos sistemas para atender às novas áreas de crescimento. Estima-se que nos grandes centros urbanos os maiores investimentos necessários serão para a recuperação das partes mais antigas dos sistemas de transporte e distribuição de água potável.

A deteriorização dos sistemas de transporte e distribuição de água mais antigos, deve-se a falta de adequada manutenção e recuperação, resultando em elevados índices ocasionados pelos constantes vazamentos, com importantes reflexos no faturamento por parte da prestadora de serviço, e ainda colocando o sistema de abastecimento vulnerável a contaminação da água através de perda de estanqueidade das tubulações e juntas danificadas.

Na figura 1.0 é apresentado o esquema geral que constitui um sistema de abastecimento de água. São demonstradas as principais entradas e saídas de água e diversos tipos de perdas em um sistema de distribuição típico, por ordem seqüencial, desde a captação da água bruta até ao consumo de água pelos clientes.



**Figura 1- Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com identificação dos componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal.**

*Fonte:* (ALEGRE, 1998)

A eficiência com que os recursos existentes para otimização da rede são utilizados depende, entre outros fatores, da forma como a rede foi projetada e gerida, de modo a minimizar os desperdícios. Assim, para que estes desperdícios sejam minimizados é necessário que as infra-estruturas existentes sejam adequadas, que os recursos naturais sejam racionalmente utilizados e que este conjunto seja gerido com eficácia e sustentabilidade (ALEGRE & COELHO, 1998).

A indústria da água tem sofrido um rápido desenvolvimento na maioria dos países, incluindo o Brasil. Atualmente, as iniciativas neste domínio devem sobretudo visar um desenvolvimento sustentável, ou seja, programar investimentos a médio e longo prazo, racionalizar e otimizar os recursos disponíveis através de implementação de soluções integradas e economicamente eficazes, de forma a permitir um desempenho aceitável dos sistemas (CORREIA, 1996; COELHO & ALEGRE, 1997, citado por CARDOSO et. al., 1999).

O abastecimento de água passou por três fases (FARIA & ALEGRE, 1996) tal como se apresenta na Figura 02: a fase da quantidade, qualidade e da excelência. A primeira refere-se, essencialmente, a disponibilização de água em quantidade suficiente.

A segunda esta ligada à anterior, porém intensificando os cuidados e atendimentos aos padrões de qualidade; a fase da excelência procura acrescentar aos estádios anteriores a vertente da qualidade do serviço prestado, numa óptica de desenvolvimento sustentável em termos sociais econômicos e ambientais.

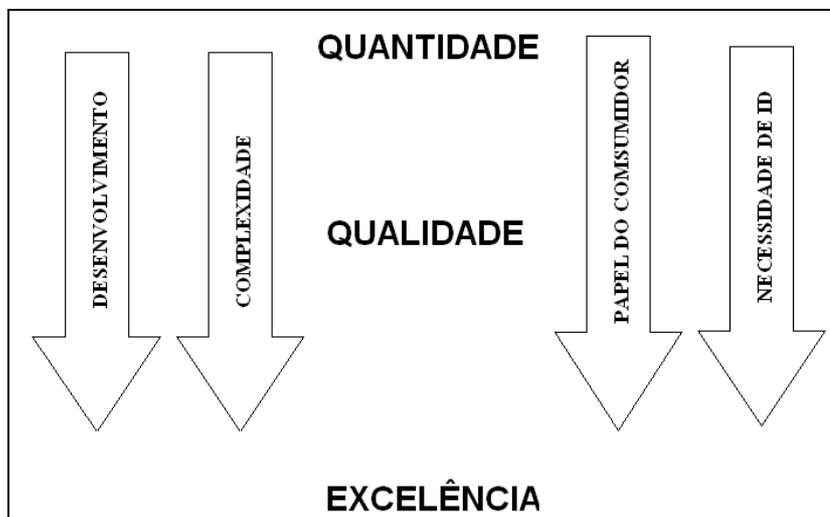


Figura 2 – Fases de desenvolvimento dos serviços de abastecimento de água

Fonte: (ALEGRE, 1996).

ALEGRE & COELHO (1998) salientam que depois de estabelecidos os objetivos de qualidade de serviço a atingir, as entidades gestoras devem continuamente procurar adotar medidas conducentes à minimização do consumo dos recursos naturais (por exemplo: uso eficiente da água e energia), financeiros, técnicos e humanos disponíveis. Neste contexto, a unidade gestora assistirá a um profundo processo de mudança.

As principais motivações para esta mudança são as seguintes:

- À medida que o nível de cobertura da população aumenta, cada vez mais se promovem expansões ou reforços de sistemas existentes, sem avaliar os impactos de novas ampliações como um todo;
- É maior a sensibilização para a necessidade de sustentabilidade da gestão;

- A existência de uma maior conscientização para os aspectos ambientais, que se reflete na necessidade de racionalizar o uso dos recursos naturais em água e energia;
- Maior relevância dos aspectos da qualidade da água inerentes às exigências legais;
- O aumento da conscientização da necessidade de garantir bons níveis de serviço durante toda a vida da obra, pelo que a identificação e análise dos cenários de operação mais adequados devem ser feitas precocemente, desde o início da fase de planeamento e projeto;
- O progressivo reconhecimento das vantagens de adoção de uma visão integrada e pluridisciplinar da gestão dos sistemas através de software de simulação, que contemple, nomeadamente, os aspectos hidráulicos, de qualidade de água, de fiabilidade, de gestão de energia, de recursos humanos e de manutenção;
- A acessibilidade, cada vez maior, do equipamento computacional;
- O papel do cidadão – consumidor ter vindo progressivamente a ganhar relevância, em particular por meio dos órgãos de comunicação social e das organizações não governamentais ligadas aos direitos do consumidor e à defesa do ambiente; este fato exige por parte das entidades gestoras a demonstração pública através de formas de expressão adequadas de que procuram, em cada momento, atingir níveis de qualidade de serviço tão elevados quanto lhes é possível.

Sendo a água um fator essencial para o desenvolvimento sócio – econômico, e conseqüentemente um recurso estratégico e estruturante á semelhança do que se passa na União Européia, há necessidade de se garantir uma elevada eficiência no seu uso, como contributivo para a sustentabilidade dos recursos naturais, o que deve corresponder a uma opção estratégica clara de gestão de recursos hídricos (BAPTISTA, 2002).

## 2.2 PARTES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para compreensão de um sistema de abastecimento água é necessário entender diversos componentes nele incluído, descritos abaixo:

### ➤ **Manancial:**

É o ponto de onde começa o sistema, onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender à demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.

### ➤ **Captação:**

Entende-se por obras de captação o conjunto de estrutura e dispositivos construídos ou montados junto a um manancial, para a tomada de água destinada ao sistema de abastecimento. Os mananciais de superfície são os rios, os córregos, lagos e reservatórios artificialmente formados. Estes últimos, muitas vezes, são construídos como parte integrante do sistema de captação, visando assegurar a obtenção da vazão necessária.

As obras de captação devem ser projetadas e construídas de forma que, em qualquer época do ano, sejam asseguradas condições de fácil entrada da água e, tanto quanto possível, da melhor qualidade encontrada no manancial em consideração. Outrossim, deve-se ter sempre em vista, ao desenvolver um projeto, facilidades de operação e manutenção ao longo do tempo.

Por tratar-se, geralmente, de estruturas construídas dentro da água, sua ampliação é, por vezes, muito trabalhosa. Por isso, recomenda-se a construção das partes mais difíceis numa só etapa de execução, mesmo que isso acarrete maior custo inicial.

### ➤ **Estação Elevatória:**

Destinada a recalcar a água para a unidade seguinte. Em sistemas de abastecimento de água, geralmente há várias estações elevatórias, tanto para o recalque de água bruta, como para o recalque de água tratada. Também é comum

a estação elevatória, tipo “booster”, que se destina a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição de água.

➤ **Adutora:**

Adutoras são canalizações dos sistemas de abastecimento e destinam-se a conduzir água entre unidades que precedem a rede distribuidora. Não possuem derivações para alimentar distribuidores de rua ou ramais prediais. Há, entretanto casos em que da adutora principal partem ramificações (subadutoras) para levar água a outros pontos fixos do sistema.

As adutoras interligam tomadas, estações de tratamento e reservatórios, geralmente na seqüência indicada.

São canalizações de importância vital para o abastecimento de cidades, mormente quando constituídas de uma só linha, como acontece na maioria dos casos. Qualquer interrupção que venham a sofrer afetará o abastecimento da população, com conseqüências significativas.

Aos engenheiros e responsáveis pelos serviços de água, como aos mestres e operários, os acidentes em adutoras causam os maiores aborrecimentos porque exigem um trabalho fora do comum para restabelecer em prazo curto a normalização do suprimento. Aos administradores públicos, as bruscas paralisações de fornecimento provocam acentuados impactos negativos e até implicações de caráter político.

➤ **Estação de tratamento de água:**

Destinada a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.

➤ **Reservatórios:**

As finalidades dos reservatórios de distribuição são:

- a) Atender às variações de consumo;
- b) Atender às demandas para extinção de incêndios;

c) Atender ao consumo em situações de emergências que produzem interrupção no abastecimento;

d) Melhoria das condições de pressão: pressão estável, em picos.

➤ **Rede de distribuição:**

Formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

## **2.3 MODELOS SIMULADORES**

O termo simulação geralmente refere-se à representação do comportamento de um sistema físico de interesse. No caso específico dos sistemas de abastecimento de água, modelos matemáticos visam reproduzir a dinâmica de um sistema existente ou proposto, e são comumente utilizados na fase de projeto, para o dimensionamento das unidades e, após o início de operação, para avaliação de seu desempenho (CARRIJO, 2004).

Modelos de simulação são modelos matemáticos cujas técnicas permitem representar alternativas propostas e simular condições reais que poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerentes ao conhecimento técnico científico (TUCCI, 1998).

No campo do projeto e do diagnóstico de funcionamento de sistemas de distribuição de água, os modelos de simulação são os instrumentos computacionais mais consagrados, constituindo um complemento importante à experiência dos técnicos envolvidos. Fornecem informação de grande relevância no apoio a tarefas como a operação diária, o controle de perdas, a reabilitação dos sistemas, a avaliação do impacto de novos licenciamentos, a escolha de pontos de amostragem, o estudo de reforços de cloração e a otimização da gestão de volumes bombeados, entre outras.

No Brasil constata-se, no entanto, que a utilização efetiva destes simuladores na indústria da água ainda é pouco freqüente em função de:

- Ser uma tarefa de certa complexidade, exigindo empenhamento e especialização técnica;
- Necessidade de manutenção periódica que um modelo de simulação acarreta, uma vez desenvolvido, para se manter operacional;
- Os custos do software e a reduzida oferta, até há pouco tempo, de programas em português.

Um modelo matemático consiste na resolução de uma única equação ou um conjunto de equações matemáticas formuladas para representar um processo natural ou artificial. O processo de modelagem, de forma geral, envolve o conhecimento:

- Do fenômeno a ser estudado;
- Do problema a ser resolvido;
- Da abstração (uma simplificação do problema);
- Dos objetivos, restrições e critérios de solução que devem ser declarados;
- Da definição e a formulação do modelo com a escolha das equações que descrevem o processo e algoritmos de solução;
- Da verificação do modelo quanto à lógica de cálculo e formulação das equações;
- Da calibração do modelo (comparação entre o processo modelado e o real);
- A avaliação do modelo para um possível refinamento;
- Da análise de sensibilidade (identifica e aprimora o nível de precisão do modelo);
- Da validação (comparação entre o processo modelado e um novo conjunto de dados reais);
- Da simulação propriamente dita.

Antes do emprego de um modelo matemático é preciso definir qual o possível modelo a ser usado, principalmente se houver necessidade de aquisição de um modelo comercial (software) necessitando de um custo inicial de investimento; se há pretensão de se desenvolver um modelo, então será necessário formular um fenômeno a ser estudado. Uma das formas de se avaliar a possibilidade de uso de um modelo é fazer um levantamento preliminar dos dados de estrada necessários para seu funcionamento e o volume de dados disponível.

Os resultados de uma modelagem numérica, de uma simulação real presente, podem indicar as formas de se melhorar a operação e monitoramento de um sistema de abastecimento de água e estabelecer seguramente, mas de maneira ampla, as cargas de entrada mais representativas, servindo também de ferramenta para planejamento de expansão do sistema a partir da análise de possíveis cenários.

Muitos dos modelos matemáticos para simulação de rede de abastecimento possuem um módulo de cálculo hidráulico e um módulo de qualidade da água. Os modelos de qualidade da água são utilizados para determinar a idade da água, rastrear a origem da fonte, encontrar uma substância dissolvida, ou determinar sua redução. Os dados inseridos na tubulação constam de uma taxa do coeficiente de reação decorrente de uma estabilização química de uma determinada substância encontrada na água ou da iteração entre a água e a parede da tubulação (CESÁRIO, 1995).

Os cálculos hidráulicos dos modelos simuladores se baseiam nos princípios de conservação de massa e conservação de energia. Esses modelos são preparados para um sistema hidráulico composto por tubulações, reservatórios de nível fixo (por exemplo, uma represa), reservatórios de nível variado, bombas ou estações de bombeamento, nós ou pontos de demanda e válvulas.

Os dados do modelo simulador de sistemas adutores de água podem ser divididos em três tipos (CESÁRIO, 1995): rede hidráulica – topologia, operacionais e consumo.

Existem duas possibilidades de trabalho do modelo simulador em relação ao tempo. A primeira trata-se de um determinado instante fixo para o qual se dispõe de dados necessários em um momento, para simular, geralmente, uma condição limite de máxima ou mínima horária. Outra condição é simular em período extensivo onde se

requer a alimentação de dados por uma sucessão de momentos consecutivos. Nessa segunda condição, o modelo simulador atende às necessidades para um uso operacional e para modelagem.

Os dados de rede hidráulica ou a topologia do sistema referem-se a elementos físicos do sistema, quer sejam: comprimento, diâmetro e coeficiente de rugosidade da tubulação, cotas nos nós e nos reservatórios, curvas das bombas, localização dos medidores de pressão e válvulas.

A implantação de um modelo simulador para controle operacional de um sistema adutor proporciona, entre outros benefícios (BORGES, 2004):

- Melhor compreensão do funcionamento do sistema;
- Calibração da rede existente;
- Previsão de operação do sistema para atender às necessidades (normais e emergenciais), decorrente da determinação das vazões e pressões em tempo estendido, pois em função das vazões atuais simula-se a vazão futura do sistema analisado para as próximas horas.

Um marco no desenvolvimento de softwares na modelagem de redes hidráulicas se deu com o modelo computacional de simulação hidráulica que, calculava as pressões nos nós utilizando o método de Newton-Raphson e dava suporte a análises de cálculos de rede, desenvolvidos por (SHAMIR & HOWARD, 1968).

Depois disso, um programa computacional de grande referência foi desenvolvido em 1972 pela Universidade de Kentucky apresentado por WOOD & CHALES, apud CESÁRIO (1995).

O modelo Cybernet, da Haestad Methods surgiu na década de 80. Hoje o Cybernet evoluiu e adquiriu um novo nome comercial o WaterCAD. Possui módulos de qualidade da água também, interface com o software AutoCAD, de sistema geográfico de informação e de custos.

WALSKI et al. (1987) propuseram a alguns autores da área de modelos de simulação hidráulica que resolvessem um sistema de rede hidráulica hipotética cada um

a seu modo de solução para depois fazer comparações entre os caminhos utilizados para a solução do problema.

Para a escolha do modelo matemático simulador a ser implantado na Sabesp, foi organizado um processo que se iniciou com o levantamento do estado da arte em modelos simuladores hidráulicos. Este processo analisou e classificou os seguintes modelos. (SABESP, 1998):

Bloco 1 – Modelos que apresentam todos os recursos básicos para simulações em regime permanente (BORGES, 2004):

- EPANET – SARA – Trata-se de um modelo baseado no modelo EPANET. Não obteve boa avaliação quanto à facilidade de manuseio de cenários; possui modulo de simulação da qualidade da água (BORGES, 2004).
- S-PERTS – É um modelo brasileiro, elástico, com solução numérica de rede hidráulica não matricial, possui uma resolução rápida, pois utiliza o método das características para seus cálculos, não possui modulo de simulação da qualidade da água (BORGES, 2004).
- EPANET – BOSS – Baseia-se no modelo EPANET, não foi bem avaliado quanto à facilidade de manuseio de cenários. Apresentava-se com implementações em desenvolvimento (BORGES, 2004).

Bloco 2 – Modelos que apresentam os recursos adequados à simulação de rede hidráulica em tempo estendido, possuem interface gráfica, controle lógico, boas condições de calibração do modelo (BORGES, 2004).

- WaterCAD – O modelo é amigável na comunicação com o usuário, foi apontado como o mais adequado para operações com cenários e permite importação de outros modelos simuladores (BORGES, 2004).
- PIPE2000 - O modelo apresenta facilidade de comunicação com o usuário, tem ótimas condições de simulação de cenários (BORGES, 2004).

- Cybernet - Trata-se de uma versão do modelo WaterCAD que permite o trabalho em ambiente AutoCAD. Posteriormente a esse processo, o modelo mudou de nome comercial para WaterCAD for AutoCAD (BORGES, 2004).

Bloco 3 – Os modelos que propõem além das condições anteriores, a integração com o sistema SCADA de supervisão e controle operacional de rede hidráulica. São os mais completos dentre os modelos analisados, exigindo assim maior treinamento por parte do usuário. Estes modelos se destacam por apresentarem várias opções de simulações com variações de cenários e de controles sobre o acionamento dos elementos, como válvulas e bombas (BORGES, 2004).

- Strumap – Este simulador tem como característica a dificuldades de entrada de dados e formatação da topologia (BORGES, 2004).
- SynerGEE (versão 3.0) – É um modelo da Stoner, que oferece dificuldades de entrada de dados e formatação da topologia (BORGES, 2004).
- H2ONET (Versão 3.0) – Oferece vantagens operacionais para equipar os computadores do CCO e integração com SCOA, mas exige o ambiente AutoCAD (BORGES, 2004).

Os modelos simuladores se diferenciam por técnicas de cálculo mais ou menos ágeis, por facilidades de apresentação dos resultados e por interfaces com outros módulos de software. Atualmente, com os recursos computacionais existentes, não há motivos para se preocupar com a rapidez de processamento. Quanto á facilidade do usuário, a arte de modelar é uma tarefa que exige habilidade e conhecimento de especialista, não chegando a oferecer um obstáculo para a interpretação dos resultados.

Entretanto, as ferramentas de atalho e outras facilidades fazem com que o especialista ganhe tempo. Melhor performace se tem nos modelos simuladores que possuem interfaces com outros módulos de software, pois automatizam a entrada e saída de dados. Resta uma avaliação de custo / benefício para a escolha de um modelo adequado às condições suplantadas

O modelo deve atender questões como:

- Viabilidade financeira;
- Garantia de facilidade operacional sem a introdução de muitos parâmetros de forma que a disseminação da técnica de modelo não cause impacto negativo;

### **2.3.1 Capacidade de Modelação Hidráulica**

Uma rede completamente caracterizada (ou seja, incluindo todas as tubagens, sem simplificações) e uma modelação hidráulica fiável constituem pré-requisitos essenciais para a correta modelação. O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio á simulação hidráulica, de que se destacam como principais características (ROSSMAN et. al., 2002):

- Dimensão (número de componentes) da rede a analisar é ilimitada;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombas de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelação da relação entre pressão e caudal efluente de dispositivos emissores (p. ex. aspersores de rega, ou consumos dependentes da pressão);

- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p. ex.; altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

### **2.3.2 Passos da Modelagem**

A modelagem de um sistema de distribuição de água através do EPANET utiliza tipicamente os seguintes passos:

- a) Desenhar uma representação esquemática do sistema de distribuição ou importar uma descrição-base do sistema a partir de um arquivo de texto;
- b) Editar as propriedades dos objetos que constituem o sistema;
- c) Descrever as condições de operacionalidade do sistema;
- d) Selecionar um conjunto de opções de simulação;
- e) Executar uma simulação hidráulica ou de qualidade da água;
- f) Visualizar e interpretar os resultados da simulação.

### **2.3.3 Esqueletização**

A esqueletização corresponde a representação do traçado da rede de distribuição, de forma a atender as necessidades de determinado trabalho, ou seja, mostrar mais ou menos detalhes. Pode representar somente as tubulações principais (primárias), ou representar além destas, as tubulações secundárias (tubulações de menor diâmetro) da rede.

O abastecimento de água, desde os reservatórios de distribuição até os pontos de consumo da cidade (ligações domiciliares, hidrantes contra incêndio, chafarizes e outros tipos de tomada de água) realiza-se através de uma ou várias redes de distribuição, com a finalidade de garantir que em cada ponto consumidor a água chegue com vazão precisa, pressão suficiente e que sua qualidade não seja deteriorada (GOMES, 2002).

A maior parte das referências define os condutos de transporte de água como tubulações principais, secundárias e em alguns casos até terciárias, segundo o diâmetro e a posição que ocupam no esquema da instalação do sistema.

Para representação de modelagens utilizam-se esqueletizações variadas em função do uso:

a) Aplicações que permitem maior esqueletização

- Planos Diretores;
- Estudos regionais de qualidade da água;
- Estudos de energia.

b) Aplicações que exigem menor esqueletização

- Projetos (na área de interesse);
- Elaboração de programas de redução de perdas;
- Estudos detalhados de qualidade de água.

Também se deve considerar algumas diretrizes, tais como, incluir os pontos de maior interesse ou preocupação, considerar grandes usuários de água, usar pontos de amostragem ou pontos de pressão conhecida, inserir pontos nos quais se deseja saber o que esta acontecendo, incluir todos os tubos de um dado diâmetro ou maiores, usar o bom senso e os conhecimentos de engenharia para completar os circuitos.

É recomendado ainda verificar se o modelo é capaz de simular todos os tubos, se os custos para montar, carregar e rodar o modelo são significativos e o grau de esqueletização necessário.

### **2.3.4 Métodos de Simulação**

**a) Modelo estático**

A simulação estática permite reproduzir as características do sistema simulado para um dado cenário de consumos (simulação instantânea), como se dele fornecessem uma fotografia (ALEGRE, 2000).

### **b) Modelo dinâmico**

Utiliza-se habitualmente o termo “simulação dinâmica”, em modelagem de sistemas de distribuição de água, quando se efetua uma simulação da evolução do sistema ao longo do tempo, através de uma seqüência de soluções de equilíbrio hidráulico obtida para sucessivos instantes (ROSSMAN, 2002).

O termo “dinâmica” resulta, neste tipo de modelo, das condições limites serem variáveis no tempo (ex., variação da altura de água no RNV (Reservatório de Nível Variável), liga / desliga de uma grupo elevatório) e não por considerar na equação da dinâmica os respectivos termos de inércia.

Para a execução de uma simulação dinâmica, deve criar-se um padrão temporal, para representar a variação periódica dos consumos nos nós ao longo do tempo. No caso do EPANET, normalmente utiliza-se um padrão de 24, 48 ou 72 horas e um intervalo de tempo de 1 hora fazendo com que os consumos variem 24 vezes ao longo do dia.

#### **2.3.5 Aspectos Relevantes**

O cadastro é a base da representação do sistema. Para obtenção de resultados favoráveis, deve-se utilizar as plantas mais atualizadas (utilizar preferencialmente desenhos em cad e georreferenciados, quando existir), verificar as tubulações principais e as secundárias por amostragem, conversar com o pessoal de operação, tentando identificar incoerências entre o cadastro e a “realidade”.

#### **2.3.6 Dados de Calibração**

A aplicabilidade dos modelos de redes hidráulicas depende da precisão dos dados de entrada (ORMSBEE & LINGIREDDY, 1997). Assim, o emprego de modelos de simulação de redes, por sua vez, requer que os parâmetros relevantes do ponto de vista hidráulico sejam identificados com vistas à reprodução (previsão) realística do comportamento do sistema, sob diferentes condições operacionais. Este processo é chamado de calibração.

Calibração de um modelo de rede de distribuição de água deve ser sempre realizada antes de qualquer análise de planejamento operacional ou reabilitação de

redes. Historicamente, um dos mais difíceis passos do processo tem sido o ajuste final dos valores das rugosidades absolutas dos tubos. Estimativas dos valores das rugosidades dos tubos podem ser obtidas usando valores médios da literatura ou diretamente de medidas de campo. Pesquisadores e fabricantes têm desenvolvido tabelas que fornecem estimativas de rugosidade do tubo em função das características do material, diâmetro e idade. Embora tais tabelas possam ser úteis para tubos novos, sua aplicabilidade para tubos velhos diminuem significativamente com a idade destes, devido à possibilidade de incrustação, resultado das propriedades químicas da água. Tendo em vista o custo envolvido nas determinações de campo, as estimativas da rugosidade para tubos em uso devem resultar da calibração do modelo do sistema. Mesmo quando tubos novos estão sendo usados, é importante verificar os seus valores das rugosidades. Para a obtenção das estimativas das rugosidades das tubulações através da calibração, é conveniente dividir o sistema de distribuição de água em zonas que contenham as mesmas características do material e idade dos tubos.

O programa EPANET permite que se comparem os resultados da simulação com os dados de medições em campo. A comparação pode ser efetuada através de gráficos de séries temporais, para localização selecionadas na rede. Antes do EPANET utilizar os dados de calibração, estes têm que ser introduzidos num ficheiro e registrator com o projeto. O instante de medição deve atender ao instante inicial da simulação, ao qual os dados de calibração serão aplicados.

As etapas da calibração de acordo com SAVIC & WALTERS (1997), as técnicas e procedimentos para construir os modelos de simulação de sistemas de distribuição de água podem ser resumidos nas seguintes atividades:

- Consulta às informações do sistema de distribuição de água, tais como: registros dos consumidores e mapas entre outras informações;
- Inspeção do local para instalação de equipamentos;
- Medidas de campo preliminares;
- Realização das medidas de campo efetivamente a serem utilizadas na calibração;
- Entrada de dados da rede para uma análise de computador;

➤ Calibração do modelo.

A análise da performance da calibração pode ser feita com base nos critérios estabelecidos pelo WATER RESEARCH CENTRE, (1989), para comparação entre os valores reais (sintéticos) e aqueles obtidos via simulação. Para os valores de vazão, dado pela equação (1) do erro relativo, deve estar dentro da seguinte faixa:

% ± 5% para as medidas de vazão quando as vazões medidas excedem 10% da vazão abastecida total;

% ± 10% para as medidas de vazão quando as vazões medidas não excedem 10% da vazão abastecida total.

Para o caso dos valores de pressão, o critério deve se basear no erro absoluto, dado pela diferença entre o valor simulado e o observado, e não deve exceder uma das seguintes faixas:

% ± 0,5 m para 85% das medidas de pressão;

% ± 0,75 m para 95% das medidas de pressão;

% ± 2 m para 100% das medidas de pressão.

$$Erro\ Relativo = \frac{Z_i - Z_i^*}{Z_i^*} 100(\%) \quad eq.1$$

Onde  $Z_i$  é o valor encontrado pelo modelo para a variável de decisão ou de estado  $i$  e  $Z_i^*$  é o valor real de  $i$ .

Para as variáveis de decisão, foram adotados o erro relativo (equação 1) e o erro relativo total (equação 2) como critério de comparação entre os valores reais (sintéticos) e os valores simulados, sendo esta comparação não normalizada nos moldes do WATER RESEARCH CENTRE (1989).

$$ErroTotal = \sum_{i=1}^{mvd} Erro\ Relativo_i (\%) \quad eq.2$$

Onde  $nvd$  é o número total de eventos na simulação.

Devido às incertezas dos medidores, segundo alguns autores é razoável admitir uma diferença de 10% entre as vazões observadas e as vazões calculadas, uma diferença entre a pressão observada e calculada de cerca de 10% ou de  $\pm 5\text{m}$  ou em 100% dos casos das medidas com  $\pm 2\text{m}$  (WALSKI et al., 2001).

## **2.4 DETERMINAÇÃO DE CONSUMOS E CAUDAIS PARA SIMULAÇÃO**

Neste ítem será descrito as formas de obtenção dos consumos bases, em vista da importância destes dados quando se parte para a simulação e validação do modelo. A estimativa destes dados devem ser o mais próximo da realidade para que não ocorram resultados desfavoráveis. Este estudo de distribuição dos consumos foi elaborado por COELHO et. al, (2003).

### **2.4.1 Quantificação de Caudais e Consumos num Sistema de Abastecimento**

As solicitações a um sistema de abastecimento de água são os consumos de água por parte dos diversos grupos de utilizadores e as perdas físicas de água que ocorrem no conjunto de condutos e componentes restantes. A sua estimativa constitui a tarefa mais difícil e habitualmente mais trabalhosa do processo de desenvolvimento de um modelo de simulação, uma vez que os consumos humanos têm um comportamento de natureza estocástica, tanto no tempo como no espaço, e são invariavelmente as maiores fontes de incerteza associada ao modelo, (COELHO et. al. ,2003).

O consumo de água numa rede de distribuição inclui o consumo humano – doméstico, comercial, industrial, as utilizações públicas de água para rega de espaços verdes ou lavagem de ruas, e as restantes utilizações autorizadas, bem como eventuais utilizações não autorizadas – e as perdas de água devidas a fugas, roturas e extravasamentos.

Assim, assume particular importância o cuidado posto na obtenção das estimativas de consumo, e a adoção de métodos de quantificação e atribuição de consumos aos nós da rede que facilitem a sua atualização permanente e flexibilizem o cálculo e a utilização do modelo.

Na realidade, a medição fíável dos principais volumes da água geridos deverá constituir uma parte integrante das funções de abastecer e distribuir água, não só para efeitos de modelação, mas, sobretudo pelo incremento das capacidades de análise e gestão da oferta e da procura incluindo a avaliação de perdas.

A medição dos caudais captados, produzidos, aduzidos e armazenados (incluindo os importados e exportados) pelos sistemas, bem como dos caudais de entrada e saída em cada setor de distribuição ou zona de medição e controle é essencial para o cálculo adequado dos balanços hídricos.

Embora a principal finalidade da medição doméstica seja a faturação dos caudais vendidos, a exatidão das medidas e a eficácia do sistema de leitura são igualmente de importância crucial para o cálculo dos balanços hídricos.

Um primeiro indicador importante é o consumo médio global. Existem várias formas de determinar, das quais se referem como mais comuns as seguintes:

- Por macro-medição, ou medição direta dos volumes de água fornecida à rede através de grupos elevatórios, reservatórios e/ou condutos adutoras;
- Por micro-medição, ou medição dos volumes de água utilizados nos pontos de consumo;
- Por estimação, com base no tipo de ocupação urbanística, no número de habitantes servidos, nas indústrias abastecidas, no estado de conservação da rede, etc.

As duas primeiras formas são complementares e não alternativas dado que só através da comparação entre os valores obtidos pela macro-medição e pela micro-medição é possível contabilizar as perdas do sistema de distribuição (perdas e consumos não medidos), e atuar em conformidade.

Na prática, é comum a existência de registros mensais de micro-consumos, e a inexistência ou escassez de equipamento que permita quantificar com exatidão os volumes de água fornecidos á rede.

Por norma, os registros de micro-consumo são insuficientemente consistentes para poderem tirar conclusões à escala do mês, por diversos motivos (leituras efetuadas em datas diferentes consoante a área de leitura, avarias, acertos, etc.), mas permitem, com rigor razoável, determinar consumos médios semestrais ou anuais medidos, para a totalidade da rede.

No caso, ainda relativamente freqüente, da falta de dados de confiança, é necessário recorrer à estimação. Nesta eventualidade, há que atender cuidadosamente à definição da capitação utilizada na (s) fonte (s) bibliográfica (s) onde são recolhidos os valores.

As três formas mais comuns de definir captação são as seguintes:

- Razão entre o consumo doméstico médio diário medido e o número de habitantes;
- Razão entre o consumo total médio diário medido (incluindo todos os tipos de consumidor) e o número de habitantes;
- Razão entre o volume médio de água fornecida diariamente a rede e o número de habitantes.

Qualquer das 3 formas deverá ser calculada utilizando, como estimativa para o número de habitantes, tanto a população residente como a população presente, quando for previsível que existam diferenças significativas entre ambas.

As diferenças dos valores de captação definidos a partir de uma ou de outra das vias referidas não é de modo nenhum desprezível, havendo que fazer as conversões necessárias em face dos objetivos em vista.

### 2.4.2 Especificação dos Consumos

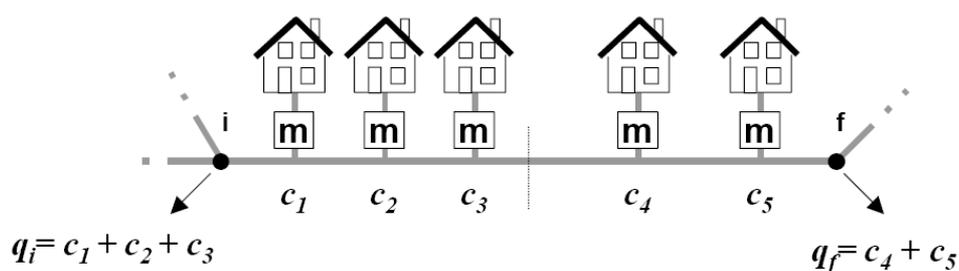
A especificação dos consumos é um dos principais problemas que se levantam no processo de simulação. Apresentam-se neste ponto as diferentes formas de especificar os consumos nos atuais simuladores, incluindo tanto a sua distribuição espacial ao longo da rede como a variação temporal e o modo de traduzir vários tipos de comportamentos simultâneos.

Embora, do ponto de vista da rede, os consumos estejam distribuídos ao longo dos condutos, através dos ramais de entrega, e seja expectável que as fugas se distribuam de forma aproximadamente contínua, os modelos de simulação empregam habitualmente a simplificação justificável de representar o consumo como estando concentrado nos nós que delimitam os condutos.

A hipótese simplificativa de considerar a distribuição espacial das perdas proporcional á dos consumos é perfeitamente aceitável, pelo seguinte:

- É geralmente aceito que a maior parte das perdas físicas num sistema de distribuição urbano ocorre através dos acessórios dos ramais de ligação (HIMER, ALEGRE & COELHO, 2000);
- Se for admitido que quanto maior for o consumo, maior será a extensão e número de acessórios dos ramais, a proporcionalidade direta entre o consumo e as perdas é uma suposição razoável;

Se não houver macro-medição, ou esta não for fiável, a percentagem de perdas é em geral mal conhecida – os erros cometidos na estimação das perdas e da sua variabilidade ao longo do dia devido ás variações de pressão, são muito provavelmente tanto ou mais importantes que os erros causados pela introdução da simplificação referida.



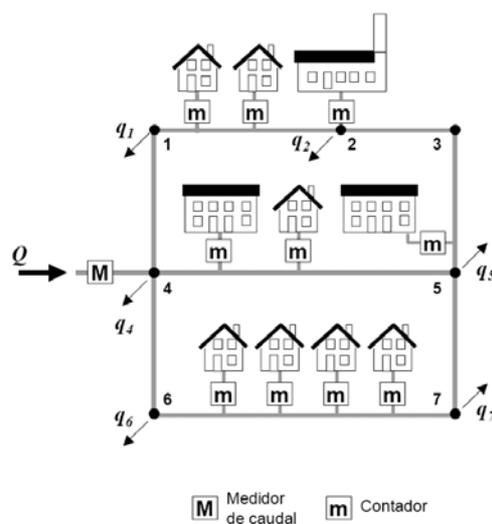
**Figura 3 - Atribuição dos consumos na conduta aos nós inicial e final (a linha tracejada marca o ponto médio da conduta)**

*Fonte: (COELHO et. al., 2003)*

É convencional que os consumos que ocorrem em cada semicomprimento de uma conduta são concentrados no nó respectivo. Na figura 3  $c_1$  a  $c_5$  são os consumos que verificam nos ramais domiciliários ligados ao longo da tubulação, e  $q_i$  e  $q_f$  são os consumos acumulados nos nós  $i$  e  $f$ , que delimitam a tubulação. Os consumos  $c_1$  a  $c_3$  são atribuídos ao nó  $i$ , uma vez que estão mais próximos deste, enquanto que os consumos  $c_4$  e  $c_5$  são atribuídos ao nó  $f$ .

### 2.4.3 Consumo Base

A forma habitual de especificar os consumos num modelo de simulação consiste em atribuir a cada nó um valor nominal, também designado por **consumo base**. Na figura 4 a vazão total fornecida á rede é  $Q$  e os consumos-base os nós 1 a 7 são  $q_1$  a  $q_7$ .



**Figura 4 - Caudal total fornecido  $Q$  e consumos-base  $q_1$  -  $q_7$ , numa rede de distribuição**

*Fonte: (COELHO et. al., 2003)*

O consumo-base representa o consumo acumulado no nó. No exemplo da Figura 4, o nó 3 não possui consumo-base, uma vez que nos semicomprimentos de conduta que lhe são adjacentes não há qualquer consumo. Também o nó 2 tem um consumo ligado diretamente ao nó. Trata-se de um grande consumidor, e o nó 2 foi introduzido justamente para poder individualizar este consumo-base, que será medido individualmente.

O consumo-base concentrado no nó pode ser especificado em termos de:

1. um valor dimensional, ou seja, uma estimativa (em unidades de caudal), para o período em análise, do valor médio do consumo para o conjunto de consumidores cujo consumo é representado pelo nó. A soma de todos estes valores é o consumo médio total da rede.
2. um valor adimensional, expresso como fração da vazão total que entra na rede que é obtida dividindo o valor referido em (1) pelo consumo total da rede, para o período em análise. A soma de todas estas frações é a unidade.

## **2.5 MÉTODOS PARA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CONSUMO BASE PELOS NÓS**

Nesta seção, são apresentados métodos para obter a distribuição espacial, sendo que somente será detalhado o método escolhido. A seleção do método mais adequado deve ter em consideração, fundamentalmente, os aspectos seguintes:

- Tipo e qualidade da informação disponível;
- Equipamento de medição e de processamento disponível;
- Objetivos de aplicação do modelo.

Os modelos a construir para simulação dos sistemas de abastecimento e distribuição podem destinar-se tanto a objetivos de operação, manutenção e reabilitação como ao apoio ao planejamento e licenciamento. Assim, interessa:

- Reproduzir tão corretamente quando possível a situação atual de consumos;
- Escolher uma estratégia de carregamento e criar mecanismos tais que facilitem a contínua atualização da representação dos consumos; e

- Sendo inevitavelmente uma tarefa fastidiosa - pelo menos da primeira vez que for executada – procurar executar de forma que seja temporalmente menos onerosa, mais automatizável e menos sujeita a erro humano.

A classificação dos métodos que seguidamente se adota é de índole didática, não sendo eles de aplicação mutuamente exclusiva. É freqüente usar-se, perante casos concretos, soluções que são combinações de vários métodos, de modo a tirar o máximo partido dos recursos técnicos e humanos envolvidos.

Os métodos habitualmente empregados em modelação de sistemas de abastecimento envolvem essencialmente 3 tipos de estratégias:

- Os métodos que estimam os consumos nos nós a partir da análise da informação cartográfica;
- Os métodos que recorrem á construção de tabelas de correspondência entre os valores registrados no sistema de faturação e os nós do modelo; e
- Os métodos que realizam uma ligação funcional entre o sistema de faturação, o sistema de informação geográfica e o modelo, por forma a contabilizarem os consumos associados aos nós do modelo.

Será descrito somente o método baseado na análise cartográfica (por **área de influência**), em função de ser o método adotado no estudo de caso do presente trabalho.

Os pontos seguintes explicitam as principais características do método.

## **2.5.1 Métodos Baseados na Análise Cartográfica**

### **2.5.1.1 Aspectos Gerais**

Os métodos baseados na análise da informação cartográfica são métodos aproximados, que fornecem essencialmente estimativas, mas que possuem uma relativa flexibilidade. São as primeiras escolhas nos casos em que a informação é escassa ou quando não é possível ou aconselhável utilizar os valores de faturação. Incluem-se na primeira situação os casos de planeamento, dimensionamento ou expansão de sistemas.

### **2.5.1.2 Método das Áreas de Influência**

O método das áreas de influência baseia-se na delimitação em planta da área de influência de cada nó do modelo, na contabilização do número de consumidores existentes em cada área, e no cálculo dos consumos médios por consumidor, classificados em “ligações sem contador”, “ligações com contador” e “grandes consumidores”. Este método foi introduzido em larga escala, por exemplo, no Reino Unido (onde foi preconizado pelo Water Research Centre), onde a maioria dos consumidores domésticos não possui contador individual.

Elaborado como objetivo de tornar a preparação de dados relativamente simples e rápida, este modelo pressupõe a hipótese simplificativa de que existe homogeneidade de comportamento entre consumidores.

No LNEC (ALEGRE, 1986) foi desenvolvido uma variante que entra em conta com os limites das áreas de leitura, com o tipo de consumidor e com o tipo de ocupação urbanística. A razão de considerar as áreas de leitura deve –se ao fato de ser frequente dispor-se dos valores dos consumos totais medidos mensalmente em cada uma, por tipo de consumidor. Trata-se assim de informação já disponível relativa a unidades geográficas de dimensão relativamente pequena, que constituem em meio termo entre a consideração de valores totais e de valores individuais.

A técnica apresentada pelo Water Research Centre é resumidamente a seguinte:

- I. Reúne-se a cartografia que contenha a informação sobre a localização, o diâmetro e as interligações de todas as condutos do sistema de distribuição a modelar.
- II. Marca-se sobre essa cartografia as condutos que se pretenda considerar no modelo, marcando nomeadamente os nós de modelação pretendidos.
- III. Desenha-se sobre a mesma cartografia as áreas de influência de todos os locais de consumo abastecidos a partir de condutos ligadas ao nó, contabilizando-se em cada conduta apenas a metade contígua ao nó em causa (a outra metade é atribuída ao nó da outra extremidade).

- IV. Contabiliza-se, para cada área de influência, o número de ligações sem contador e o número de ligações com contador e identificam-se os grandes consumidores com os nós de que dependem. A este nível, pode ser feita a contabilização por tipo de consumidor (doméstico, industrial, comercial, etc), mantendo a individualização de tratamento para os grandes consumidores. Por grandes consumidores, devem entender-se todos os que tiverem consumos médios muito altos, ou altas taxas de consumo durante curtos períodos, ou ainda consumos noturnos significativos.
- V. Através de um fator de escala, convertem-se os valores assim obtidos nos consumos que, no total, perfaçam a vazão fornecida à rede para cada cenário de funcionamento.

O método das áreas de influência é de utilização bastante simples, não sendo exigente em termos de qualidade e de quantidade de dados de base. No entanto, nos casos em que os elementos cadastrais são deficientes, ou em que é necessário fazer simulações com configurações de geometria diversificada, a preparação dos dados para alterar os cenários de funcionamento é trabalhosa; a introdução ou a extinção de um novo nó exige atualizações nas áreas de influência de todos os nós adjacentes.

Este método é aplicável em modelos de simulação para apoio à exploração, ao projeto e ao planejamento. É simples fazer análises de sensibilidade ao consumo total do sistema. Permite igualmente testar fatores multiplicativos diferentes para cada tipo de consumidor. Se dispuser de dados sobre os diagramas típicos de variação dos consumos horários ou instantâneos ao longo do tempo por tipo de consumidor, a facilidade referida é importante. Estes fatores multiplicativos podem ser gerais para toda a rede ou especificados por zona de leitura.

Se abstrairmos do significado físico do peso dado a cada área de influência por tipo de consumidores (número de ligações existentes), é ainda possível estudar a sensibilidade do sistema de distribuição a flutuações de consumo localizadas, alterando pontualmente os pesos na zona em causa.

Sendo um método aproximado, espera-se ordens de grandeza e não resultados exatos. Além das simplificações introduzidas na fase de elaboração do modelo, não é de esperar que os pesos atribuídos aos nós sejam atualizados sempre que surja um novo

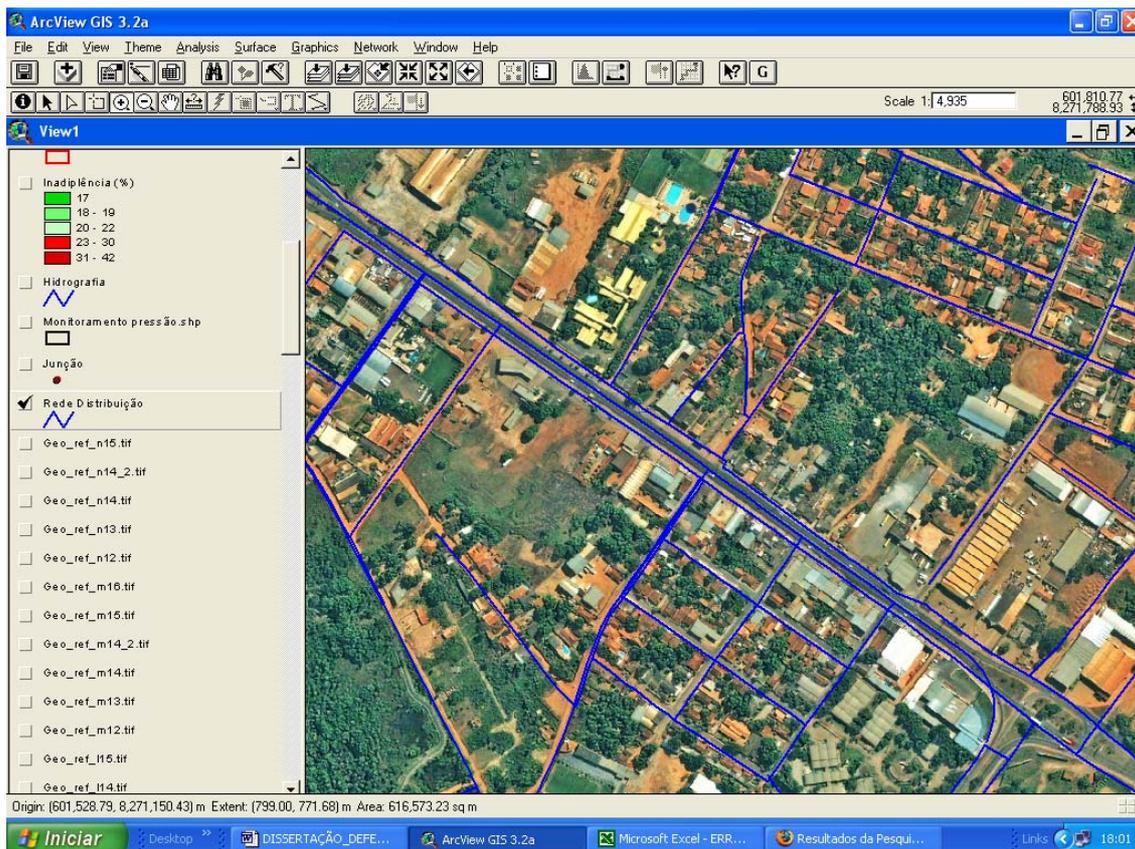
consumidor. A atualização dos dados deve ser garantida, mas com uma frequência relativamente pequena. Para sistemas semi-estabilizados, atualizações bi-anuais ou até anuais são suficientes.

Finalmente, só faz sentido utilizar a versão desenvolvida no LNEC se as áreas de leitura acompanharem em linhas gerais as manchas de ocupação urbanística diferenciada, e se, dentro de cada área de leitura, estas forem todas feitas em curtos espaços de tempo em com ciclos de igual dimensão para todos os consumidores.

## **2.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Sistema de informação geográfica (SIG) são ferramentas muito utilizadas em planejamento urbano, por apresentar excelentes ferramentas para subsidiar a gestão. Para BURROUGH (1986), um SIG é uma forma particular de sistema de informação aplicado aos dados geográficos. É um potente conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, transformar e exibir dados espaciais do “mundo real” tendo como fim uma proposta específica. Um SIG auxilia na tarefa de tomar decisões, de atualizar mapas, de simular algumas ações que se queiram realizar etc. Além disso, o banco de dados de um SIG está associado a um modelo do “mundo real”, que pode ser utilizado para reproduzir certos aspectos da realidade de forma a facilitar o planejamento.

De acordo com TEXEIRA, (1995) Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um “conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação”.



**Figura 5 - Sistema de Informação de Geográfica (SIG) do Sistema de Abastecimento CoopHEMA**

A utilização dos SIGs vem crescendo rapidamente em todo o mundo, uma vez que possibilita um melhor gerenciamento de informações e consequente melhoria nos processos de tomada de decisões em áreas de grande complexidade como planejamento municipal, estadual e federal, proteção ambiental, redes de utilidade pública, etc.

Diversas definições como estas já citadas são encontrada na literatura, umas mais genéricas, como estas e outras mais específicas, incluindo detalhes da aplicações ou tecnologias empregadas.

Como em qualquer outra atividade, no setor de distribuição de água a informação deve ser entendida como um redutor de incertezas, um instrumento para detectar erros, levando a um planejamento responsável e a execução de ações de que condicionem a realidade às transformações necessárias.

O surgimento dos Sistemas de Informações Geográficas não foi um acontecimento isolado dentro das Geociências. Ao contrário, teve seu desenvolvimento simultâneo com várias outras ciências e, dentro destas, de técnicas sofisticadas de análise e tratamento de informações gráficas e alfanuméricas. Mais especificamente, seu desenvolvimento pode ser vinculado aos avanços na Cartografia, Computação Gráfica e

Geografia, principalmente os decorrentes da informatização e novos recursos proporcionados pela introdução dos computadores. A tecnologia SIG tem uma característica multidisciplinar que a torna complexa e requer conhecimento abrangente dos temas relacionados. Geralmente este aspecto dificulta o acesso da maior parte das pessoas, restringe sua compreensão, limitando a aplicação correta, (TEIXEIRA, et al., 1995).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm demonstrado ser uma ferramenta essencial para qualquer tipo de estudo, permitindo uma melhor compreensão, a fiabilidade, a precisão e o grau de pormenor são os atributos que fazem destes sistemas uma ferramenta versátil de apoio ao planeamento e à tomada de decisão.

Os SIG, além das capacidades de armazenamento e compilação da informação, constituem uma ferramenta adequada para a avaliação das condições do sistema, pois demonstra de forma espacial a distribuição dos dados disponíveis, sendo possível analisar se os dados estão corretos ou se existem inconsistências através das funções seguintes:

- Integração e visualização dos dados referentes ao sistema de distribuição;
- Análise do sistema a partir da análise e do cruzamento de dados de natureza diversa e do mapeamento dos resultados na forma de cartas temáticas.

### **2.6.1 Características Básicas**

As principais características dos Sistemas de Informações Geográficas são a possibilidade de:

- a) Integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados geográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno (MNT's);
- b) Combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados;
- c) Consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Os dados tratados em SIG's incluem imagens de satélite, MNT's, mapas temáticos, redes e dados tabulares. Uma característica básica e geral num SIG é a sua capacidade de tratar as relações espaciais entre objetos geográficos. Denota-se por topologia a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade e pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos. Armazenar a topologia de um mapa é uma das características básicas de um SIG, assim como tratar diversas projeções cartográficas (ASSAD & SANO, 1993). Não existe um SIG comercial exatamente igual a outro: no campo dos Sistemas de Informações Geográficas, a diversidade é regra. Por isso, é importante discutir a anatomia dos SIG's, indicando os principais componentes e perspectivas de evolução.

### **2.6.2 Anatomia Interna de SIG**

Um SIG é formado por interfaces com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem e banco de dados geográficos.

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de entrada, de processamento, de visualização e de saída de dados espaciais. No nível mais interno do sistema, um banco de dados geográficos lida com os dados espaciais e seus atributos (ASSAD & SANO, 1993). Todo Sistema de Informação automatizado realiza uma série de funções bem definidas e estabelecidas, ainda que, às vezes, sejam implementadas somente as mais importantes ou as exigidas pelos objetivos e propósitos do sistema.

A entrada dos componentes da informação não só está condicionada pela fonte, como também pelo formato digital ou estrutura dos dados que se tenha assumida. Outra função dos SIG's muito ligada a anterior é a edição e correção da informação geográfica já armazenada e pelos procedimentos de entrada e estocagem dos dados. Para os atributos, armazenados de forma independente, podem ser criadas opções interativas de busca e atualização e, no caso da geometria, através de “display” gráfico, também interativamente, podem ser resolvidos os problemas ou erros de digitalização, sem necessidade de repetir todo o processo.

A manipulação da informação acontece a partir da criação do banco de dados e consiste em proporcionar diferentes opções de seleção, análise, cálculos e outras, através de interação com o usuário. A última função analisada é a de saída. Neste procedimento estão incluídas as saídas tradicionais de qualquer sistema de informação automatizado, tais como relatórios, textos, resultados de busca seletiva, etc., por meio de impressora. Mas também, e em destaque, está a saída gráfica, principalmente os mapas. Trata-se nada mais que reproduzir de forma automatizada, partindo da imagem digital à imagem gráfica, utilizando periféricos de saída próprios para isto, como são as telas de microcomputadores, as impressoras e os traçadores gráficos (“plotters”).

### **2.6.3 Informação Geográfica em SIG's**

A sigla SIG pretende designar “informações geográficas”. No entanto, este termo é muito amplo e merece uma definição mais precisa. Informação Geográfica é uma informação relativa a um objeto ou a um fenômeno da superfície terrestre, descrita por sua natureza, seu aspecto e seus atributos; essa descrição pode incluir relações com outros objetos ou fenômenos e sua localização sobre a superfície terrestre descrita por um sistema de referência (DENEGRÉ et al., 1996). A seguir apresentam-se as fontes mais comuns, assim como as principais técnicas usadas para representar a informação.

#### **2.6.4 Fontes de Dados Espaciais**

Um SIG é alimentado por informações de fontes diversas, entre as quais as mais freqüentes são levantadas em campo, em cadastros, em mapas e em dados de sensores remotos. Para exemplificar, pode-se citar alguns tipos de dados levantados em campo:

- a) Amostragens: estes dados são amostrados em vários pontos do terreno; após introdução no computador, são analisados de modo a reconstruir as características da variável no espaço e a encontrar diversos parâmetros, ex.: teor em minerais, temperatura, precipitação;
- b) Censos: visam identificar todos os indivíduos de uma população a partir da coleta de informações de certo número de indivíduos.

Cadastros podem constituir uma fonte de dados para SIG's quando suas informações são tratadas no contexto espacial. Ex.: cadastros urbanos. Mapas permitem representar características genéricas do espaço, como as cartas produzidas pelo mapeamento sistemático e, também, características de disciplinas específicas como, por exemplo, cartas geológicas e mapas de aptidão agrícola. Estas informações podem ser introduzidas nos SIGs através de várias técnicas, tais como: mesas digitalizadoras, scanners e importação de mapas digitais.

Dados de sensores remotos são, por exemplo, fotos aéreas e imagens de satélites. Fotos aéreas são usadas freqüentemente para restituição fotogramétrica e interpretação visual. Imagens de satélite interessam pelas suas características de natureza espectral e temporal e podem ser manipuladas através das técnicas tradicionais de interpretação visual ou com o auxílio de tratamento digital de imagens.

#### **2.6.5 Estruturas da Informação**

As operações de manipulação em SIG's requerem a utilização de técnicas especiais para a organização dos dados, os quais podem ser subdivididos em dois tipos principais: dados geométricos e dados não geométricos.

Dados geométricos possuem características diversas, tais como:

- a) Posicionais: caracterizam a posição de um objeto, por exemplo: a fronteira entre dois estados e um ponto de coleta de uma amostra mineral;
- b) Topológicas: caracterizam relacionamentos de vizinhança ou de conexão entre objetos, por exemplo: dois municípios divididos por um rio ou duas cidades conectadas através de uma malha viária;
- c) Amostrais: caracterizam valores de grandezas físicas ou de outras propriedades de um ponto ou de uma região, por exemplo: o valor da altura de um ponto, num modelo numérico de elevação.

De uma maneira simplificada, dados geométricos são comumente diferenciados em dois tipos: dados “raster” e “vetoriais”:

- a) Dados raster: descrevem características do espaço quanto a uma propriedade e correspondem à divisão da área numa matriz de células (ou pixels), a cada uma das quais é atribuído um valor. Exemplos podem ser imagens de satélite e mapas temáticos codificados na forma de uma malha quadriculada;
- b) Dados vetoriais: descrevem objetos na forma de vetores de pontos. Exemplos podem ser mapas de fronteiras de municípios e mapas de redes viárias.

Dados não geométricos são atributos de objetos ou informações auxiliares que descrevem características não geométricas. Para manipulação destes dados, geralmente são usados bancos de dados convencionais.

### **2.6.6 Manipulação dos Dados em SIG's**

A manipulação dos dados num SIG compreende vários aspectos, tais como:

- a) Recuperação de dados: segundo critérios de natureza espacial e não espacial;

- b) Manipulação de dados raster e dados vetoriais através de operações tais como: determinação do polígono envolvente, união de áreas, intersecção, cálculo de distância e área, reclassificação, conversão vetor-raster e raster-vetor;
- c) Manipulação em MNT através de operações, tais como: cálculo de contornos, cálculo de perfis, cálculo de visibilidade, cálculo de volume, cálculo de caminho de mínimo custo, etc.;
- d) Processamento digital de imagens, através de realce por modificação de histograma, filtragem espacial, classificação estatística por máxima verossimilhança, etc.;
- e) Manipulação de mapas através da composição de um ou mais mapas para formar um novo mapa;
- f) Geração de documentos e cartas através da geração de relatórios e produção de mapas em dispositivos como “plotters”, impressoras gráficas, etc., definindo legendas, títulos e convenções cartográficas.

### **2.6.7 Qualidade dos Dados em SIG's**

As diferentes etapas de trabalho num SIG produzem alterações nos dados armazenados. Todo processo, desde a coleta e a entrada de dados, até as operações de manipulação e saída criam erros que alteram a qualidade dos dados e fazem com que a confiabilidade das informações seja afetada.

A seguir é apresentada alguma fonte de erros considerando dados de natureza espacial (ALVES,1990).

a) Fontes de erros óbvios:

- Idade dos dados;
- Cobertura da área de estudo insuficiente;
- Escala dos mapas;

- Densidade das observações;
- Representatividade dos dados;
- Conversão de formatos (durante intercâmbio de dados);
- Possibilidade de acesso;
- Custos.

b) Erros resultantes de variações naturais ou de medição:

- Precisão de posicionamento;
- Precisão de conteúdo (qualitativo e quantitativo);
- Variação devida à entrada e saída dos dados, erro de observação e
- Variação natural.

c) Erros produzidos pelo processamento:

- Erros numéricos nos computadores;
- Erros metodológicos ( lógica e sobreposição);
- Problemas de classificação e generalização: metodologia, definição de intervalos de variação e interpolação.

### **2.6.8 Potencialidades e Benefícios Propostos pelo uso do SIG**

Segundo CÂMARA e DAVIS (1999), os SIGs permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Eles dispõem de ferramentas que possibilitam o cruzamento de diferentes temas (camadas/layers), bem como realizam análises que resultam em novos cenários que podem ser utilizados pelos gestores em suas ações. XAVIER-DA-SILVA (1999) apud TEIXEIRA (2001) enfatiza que “gestão implica em decisão e não é aconselhável decidir sem informação”.

Alguns dos benefícios mais comuns de um SIG, segundo CARVALHO et.al.

(2000) são:

- Melhor armazenamento e atualização dos dados;
- Recuperação de informações de forma mais eficiente;
- Produção de informações mais precisas;
- Rapidez na análise de alternativas; e
- A vantagem de decisões mais acertadas.

Partindo da premissa em que a grande maioria dos dados tem uma referência espacial e, portanto, eles podem ser representados e analisados espacialmente, os campos de aplicações dos SIGs são os mais diversos possíveis.

O universo de problemas onde os SIG podem atuar com contribuições substanciais é muito vasto. Atualmente, estes sistemas têm sido utilizados principalmente em órgãos públicos nos níveis federal, estadual e municipal, em institutos de pesquisa, empresas de prestação de serviço de utilidade pública (ex. companhias de água, luz e telefone), na área de segurança militar (ex.: Projeto SIVAM em diversos tipos de empresas privadas).

A seguir é listado diversas áreas de aplicação, classificadas em cinco grupos principais (RAMIREZ, 1994):

### Ocupação Humana

- Planejamento e Gerenciamento Urbano – Redes de infra-estrutura como água, luz, telecomunicações, gás e esgoto, Planejamento e supervisão de limpeza urbana, Cadastramento territorial urbano e Mapeamento eleitoral;
- Saúde e Educação – Rede hospitalar, Rede de ensino, Saneamento básico e Controle epidemiológico;
- Transporte – Supervisão de malhas viárias, Roteamento de veículos, Controle de tráfego e Sistema de informações turísticas; e
- Segurança – Supervisão do espaço aéreo, marítimo e terrestre, Controle de tráfego aéreo, Sistemas de cartografia náutica, Serviço de atendimento emergenciais.

### Uso da Terra

- Planejamento agropecuário; Estocagem e escoamento da produção agrícola; Classificação de solos e vegetação; Gerenciamento de bacias hidrográficas; Planejamento de barragens; Cadastramento de propriedades rurais; Levantamento topográficos e planimétricos; e Mapeamento do uso da terra.

### Uso de Recursos Naturais

- Controle do estrativismo vegetal e mineral; Classificação de poços petrolíferos; planejamento de gasodutos e oleodutos; Distribuição de energia elétrica; Identificação de mananciais; e gerenciamento costeiro e marítimo.

### Meio Ambiente

- Controle de queimadas; Estudos de modificações climáticas; Acompanhamento de emissão e ação de poluentes; e Gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.

### Atividades Econômicas

- Planejamento de marketing, Pesquisas sócio – econômicas; Distribuição de produtos e serviços; Transporte de matéria – prima e insumos.

Atualmente, o uso do SIG está ganhando cada vez mais, espaço em aplicações voltadas ao Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos. A Lei 9433/97 torna isso mais evidente quando, no capítulo IV, artigo 50, afirma que os *sistemas de informação* em recursos hídricos são um dos instrumentos da nova Política Nacional de Recursos Hídricos.

### **2.6.9 O uso do SIG no Saneamento**

Sem dúvida, o SIG constitui uma poderosa ferramenta para o estudo das relações entre saneamento e ambiente. Sua utilização permite um planejamento mais estratégico, melhor acompanhamento e monitoramento das ações empreendidas, mais eficiência na identificação de populações expostas a riscos.

MOTA e CARVALHO (1999) lembram que o conhecimento sobre a situação de saneamento “permite estabelecer prioridades e alocar recursos de forma direcionada para a modificação positiva das condições de saneamento da população”. Esse pensamento coaduna-se com a Organização Mundial da Saúde (OMS) ao enfatizar o quanto isso é importante, principalmente se tratando de países não desenvolvidos economicamente. O fato de poder integrar dados de saneamento, socioeconômicos, demográficos e ambientais, dentre outros, e a partir dessa integração ser possível realizar diversas análises e obter respostas para determinados questionamentos, reforça a idéia de que o SIG é uma ferramenta para auxiliar e melhor direcionar as ações resultantes de políticas públicas mais coerentes e transparentes. Por exemplo, ao se identificar áreas com maior densidade populacional e menor concentração de renda, os programas sociais de governo seriam dirigidos para aquela região. Ou ainda, identificando-se as áreas da cidade com maior incidência de doenças e menor atendimento em serviços de saneamento básico, essas seriam áreas prioritárias para ações de saneamento e melhoria desses serviços.

No entanto, uma prática muito comum, principalmente, na esfera das instituições governamentais, é a “coletânea demasiada” de dados, que não são transformados em informações, e, pela falta de análise, terminam perdendo sua capacidade de utilização. Essa opinião é reforçada por PEREIRA e PARANHOS (2002) ao afirmar que as

organizações municipais executam as rotinas de acumulação de dados; porém não os transformam em informações e conhecimentos.

Segundo MEDRONHO (1993), apesar de o número de aplicações de uso do SIG estar em franco crescimento na pesquisa em saneamento, entretanto constitui, ainda, um ambiente de trabalho pouco familiar para os profissionais da área de saneamento. Talvez, o maior entrave para isso seja a falta de estrutura nas instituições para implantar um sistema como esse, que requer o uso de hardwares potentes, softwares específicos, aquisição de aparelhos GPS, base cartográfica em formato digital, conjunto de imagens de satélites e, principalmente, técnicos qualificados para desenvolver e/ou operar o sistema.

#### **2.6.10 Breve Descrição da Base de Dados**

A principal componente para o bom funcionamento de um SIG é a Base de Dados associada. Dela vai depender o desempenho e a eficácia do SIG, que passam pela boa organização, compilação e qualidade do armazenamento dos dados. É evitada a repetição da informação e conservada a integridade dos dados a partir da criação de chaves únicas para cada registro e de relações entre os dados através de códigos. Os dados ficam armazenados nos campos de várias tabelas temáticas relacionadas entre elas por um código único para cada registro. Estas relações permitem também a realização das mais várias pesquisas entre os dados e o cruzamento de diferentes tipos de informação.

A criação de interfaces para comunicar com os vários utilizadores é outra vantagem das bases de dados. Assim, é possível efetuar as operações de introdução, edição, consulta e exportação dos dados através de formulários. Estes formulários permitem também a criação de pequenos programas de controle de dados, como seja a criação de um código único para cada consumidor (residência). Outra vantagem é a definição de diferentes níveis de prioridades para cada tipo de utilizador da Base de dados, tais como administrador da base de dados, operador de cópia de segurança, técnicos de introdução dos dados, consultor, etc. Assim, através de um código de utilizador e de palavra passe, cada tipo de utilizador pode aceder a uma parte da Base de dados. Por exemplo, o técnico de introdução dos dados só terá acesso aos formulários

previstos para o efeito, e não terá privilégios para modificar as tabelas ou as relações entre elas. Do mesmo modo, um consultor dos dados só poderá visualizar e exportar dados, não tendo permissão para os editar ou modificar.

Conhecer os passos de cada uma das etapas de um Sistema de Informações é de fundamental importância para garantir não só a fidedignidade das bases de dados, mas também a permanência a plena utilização dos mesmos.

### **3 ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL E LOCALIZAÇÃO**

##### **3.1.1 Caracterização da Companhia de Abastecimento de Água de Cuiabá**

A SANECAP Companhia de Saneamento da Capital foi criada para operacionalizar e comercializar os serviços de abastecimento d'água e esgoto do município de Cuiabá.

A SANECAP é regulamentada pela Lei 4.007 de 20/12/2000, possui um sistema de economia mista que é administrada pelo Conselho de Administração, uma Diretoria Executiva composta de um presidente e dois diretores (Técnicos e Administrativo-Financeiro) e Conselho Fiscal.

A SANECAP é a concessionária responsável pela gestão dos serviços de água e esgoto da capital de Mato Grosso, bem como da manutenção das estruturas física, incluindo os serviços de manutenção e operação das redes de água e esgoto e tratamento de água e esgoto, bem como todos os serviços de atendimento comercial.

### **3.1.2 Sistemas de Abastecimento Existentes em Cuiabá**

O sistema de Abastecimento de Água de Cuiabá explora tanto mananciais superficiais como subterrâneos e atende cerca de 240 bairros, onde são divididos em 8 Sistemas de Abastecimento descritos abaixo:

- Sistema de Abastecimento Coophema (Estudo de Caso)
- Sistema de Abastecimento ETA 1 Centro
- Sistema de Abastecimento ETA 2 Centro
- Sistema de Abastecimento Parque Cuiabá
- Sistema de Abastecimento Porto
- Sistema de Abastecimento Ribeirão do Lipa
- Sistema de Abastecimento Tijucal
- e 91 poços profundos.

A localização espacial dos Sistemas de Abastecimento será apresentada nos resultados e discussão.

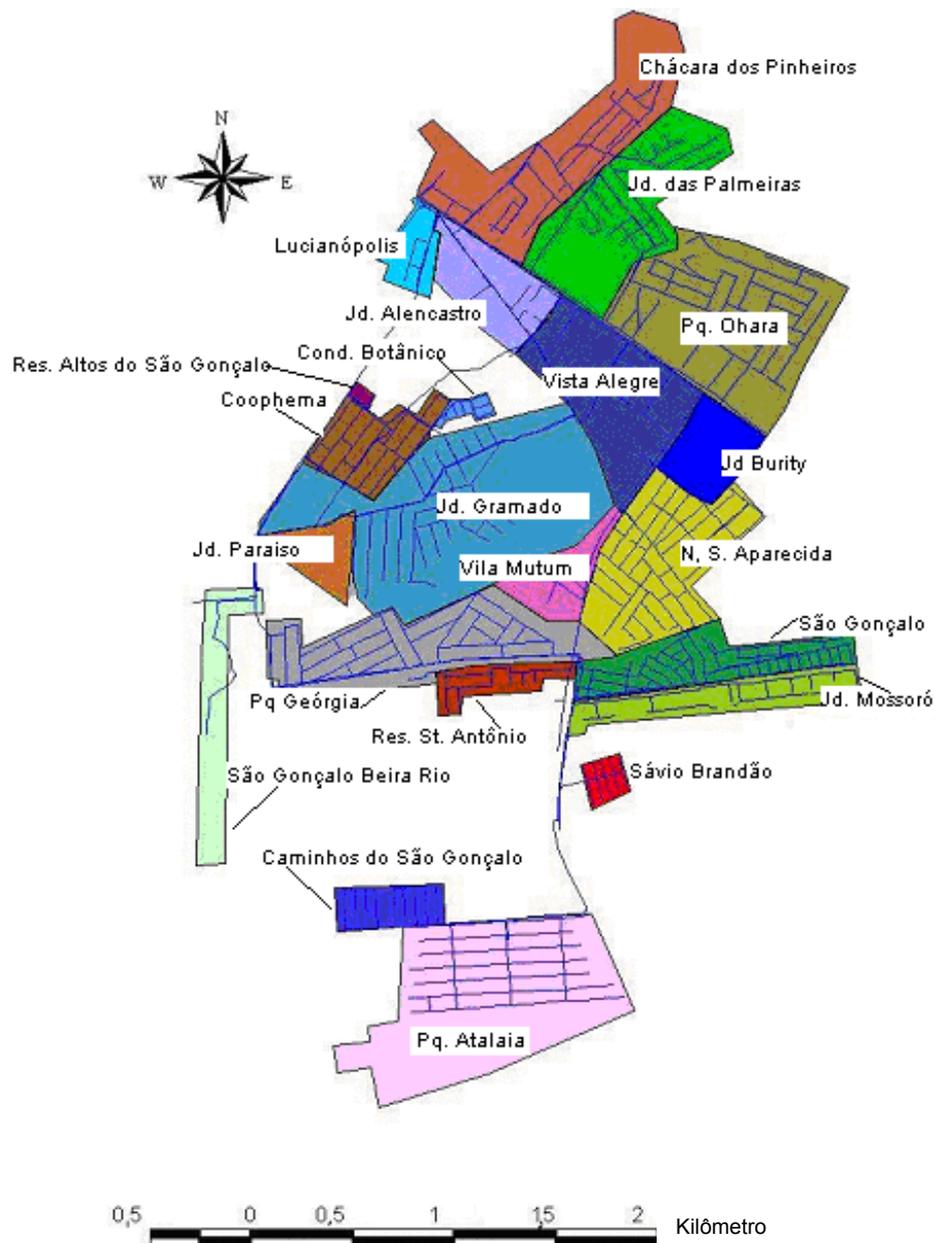
### 3.1.3 Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água CoopHEMA

O sistema de abastecimento de água CoopHEMA, em estudo, é suprido pelo manancial superficial Rio Cuiabá e é responsável pela distribuição de água para 22 bairros que corresponde aproximadamente a 7% (30.000 habitantes) com relação à população total de Cuiabá é de aproximadamente 500.000 habitantes. A tabela 1 descreve os bairros e seus respectivos números de ligações:

**Tabela 1 – Bairros atendidos pelo Sistema de Abastecimento CoopHEMA com seus respectivos números de ligação**

|     | Bairro                | Nº de Ligações | Bairro                                    | Nº de Ligações |
|-----|-----------------------|----------------|---|----------------|
| 1.  | CoopHEMA              | 330            | 2. Chácara dos Pinheiros                  | 782            |
| 3.  | Parque Atalaia        | 779            | 4. Cond. Res. St. Antônio                 | 167            |
| 5.  | Jardim Buriti         | 166            | 6. Parque Ohara                           | 180            |
| 7.  | Jardim Mossoró        | 316            | 8. Caminhos do S. Gonçalo (acima atalaia) | 343            |
| 9.  | São Gonçalo Beira Rio | 70             | 10. Vista Alegre                          | 241            |
| 11. | Jardim das Palmeiras  | 295            | 12. São Gonçalo                           | 961            |
| 13. | Parque Geórgia        | 437            | 14. Jardim Gramado                        | 607            |
| 15. | Lucianópolis          | 97             | 16. Altos do S. Gonçalo (acima coopHEMA)  | 21             |
| 17. | Parque Alencastro     | 107            | 18. Vila Mutum                            | 104            |
| 19. | Jardim Botânico       | 111            | 20. Sávio Brandão                         | 211            |
| 21. | Jardim Paraíso        | 31             | 22. Nossa Senhora Aparecida               | 562            |

A figura 06 mostra a localização espacial de todos bairros incluídos no Sistema de Abastecimento CoopHEMA.



**Figura 6 - Localização Espacial dos Bairros incluídos no SAA CoopHEMA**

Os bairros atendidos pelo sistema são na maioria da categoria doméstica. A tabela 2 mostra a distribuição em percentagem dos tipos de categorias do Sistema de Abastecimento CoopHEMA segundo planilhas da SANECAP do mês de Agosto/05.

**Tabela 2 - Distribuição em percentagem por tipo de categoria de consumo**

| Categoria    | Percentagem (%) |
|--------------|-----------------|
| Doméstica    | 95,37           |
| Comercial    | 4,55            |
| Industrial   | 0,04            |
| Uso Público  | 0,03            |
| <b>TOTAL</b> | <b>100</b>      |

Como se pode observar a maioria (95,37%) é da categoria doméstica, podendo caracterizar a área de estudo como sendo homogeneamente doméstica.

No sistema comercial da empresa, o sistema de abastecimento é dividido por setores, como mostra a tabela 3:

**Tabela 3 - Divisão do Sistema de abastecimento por setor e bairros**

| Sistema de Abastecimento de Água CoopHEMA |  |
|---|--|
| Setor                                     | Bairros  |
| 34  | São Gonçalo, Res. Sávio Brandão e Jardim Mossoró   |
| 36  | Parque Atalaia e Caminhos do São Gonçalo   |
| 302                                       | Lucianópolis, Jd. Alencastro, Vista alegre, Jd. Gramado, Vila Mutum, CoopHEMA, São Gonçalo Beira Rio, Jd. Paraíso, Altos do São Gonçalo, Jd. Botânico. |
| 312                                       | Jd. Nossa Senhora Aparecida, Jd. Burity  |
| 304                                       | Pq. Geórgia e Residencial Santo Antônio  |
| 451                                       | Chácara dos Pinheiros, Jardim das Palmeiras, Parque Ohara  |

### 3.1.4 Componentes Físicos do Sistema

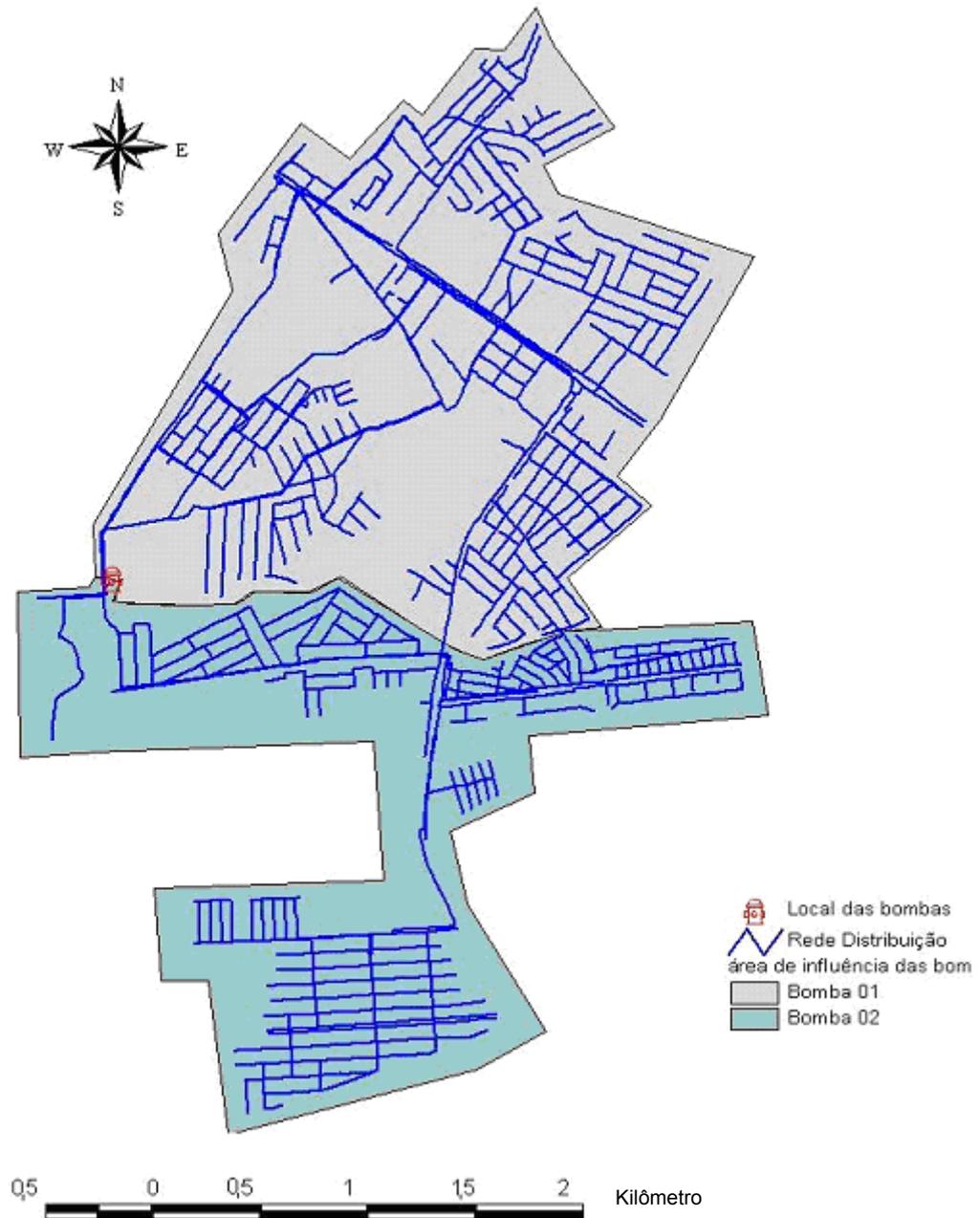


**Figura 7 – Reservatório Apoiado de Distribuição do Sistema de Abastecimento CoopHEMA**



**Figura 8 - Estação Elevatória de Água Tratada do Sistema de Abastecimento CoopHEMA**

A figura 8 mostra as duas bombas para distribuição de água tratada, sendo que a bomba 01 direciona água para parte norte do sistema de abastecimento e corresponde a 57,22 l/s e a bomba 02 para parte sul corresponde a 43 l/s (figura 09), sendo que esta parte é pressurizada por um booster, como mostra a figura 10.



**Figura 9 - Área de Influência de 02 Bombas de Abastecimento na Área de Estudo**



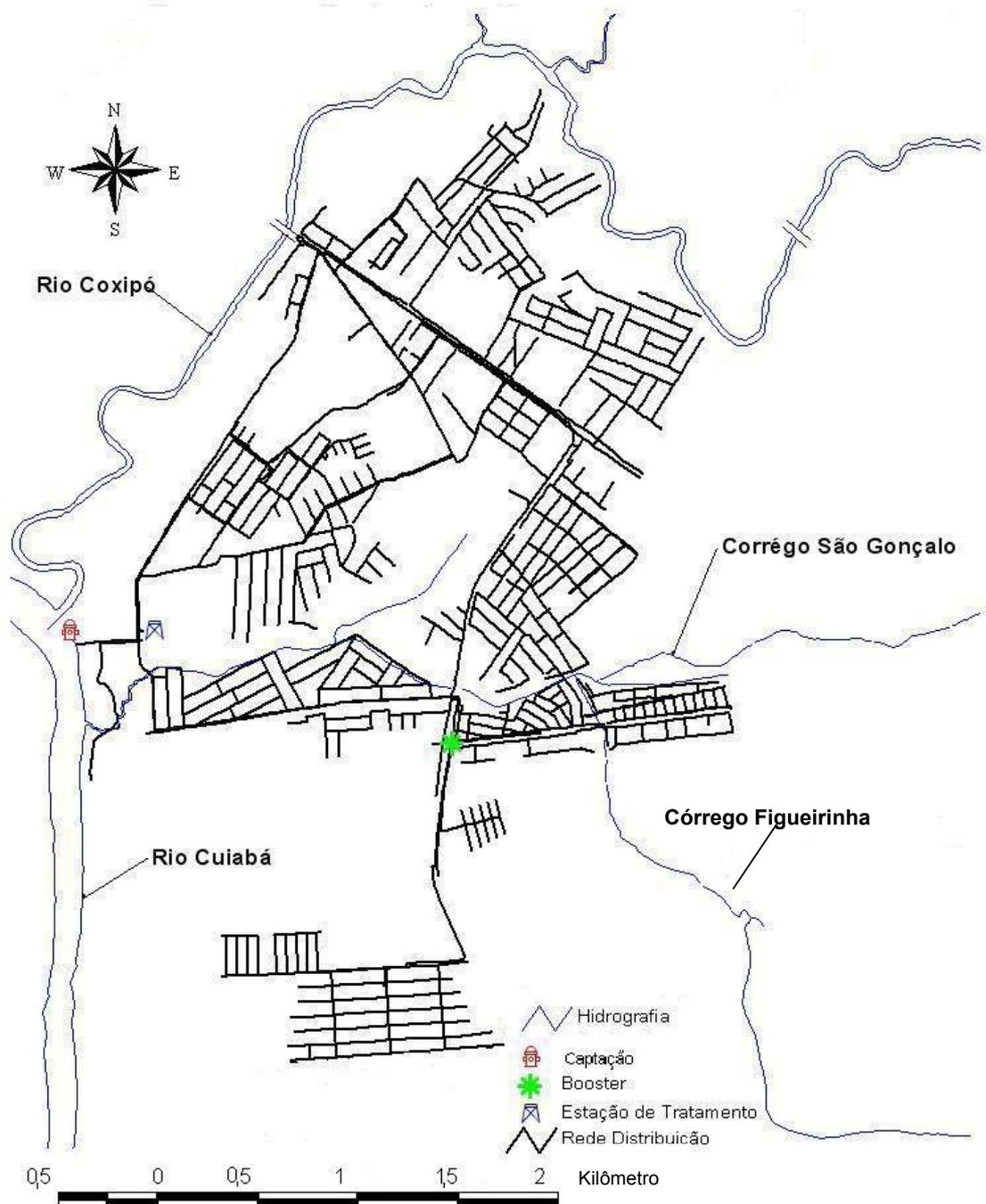
**Figura 10 - Pressurizadora da parte sul do sistema (booster)**

A captação de água bruta (Figura 11) é feita no Rio Cuiabá e fica aproximadamente 340 metros de distância da estação de tratamento.



**Figura 11 - Captação de Água Bruta no Rio Cuiabá (Tipo Flutuante)**

A figura 12 apresenta a hidrografia do local de estudo e a localização espacial da captação de água no Rio Cuiabá.



**Figura 12 - Visualização espacial da hidrografia do local de estudo e localização da captação de água e estação de tratamento**

As perdas no sistema ocorrem na lavagem de decantadores Figura 13, filtros e em componentes físicos, como nas válvulas apresentada na figura 14. A magnitude das perdas em reservatórios é variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional, mas em geral, tem pouca importância no contexto geral do sistema. No entanto, sob o aspecto de recuperação de perdas, não se deve menosprezá-las, devendo-se ter a perspectiva de que se trata de um trabalho permanente, no qual os resultados positivos são fruto da somatória de pequenos sucessos.



**Figura 13 - Perda na lavagem de decantadores**



**Figura 14 - Perda de Água no Reservatório**

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo será descrito os materiais, equipamentos e procedimentos metodológicos utilizados para a utilização do SIG e a aplicação do modelo EPANET na análise do Sistema de Abastecimento CoopHEMA da cidade de Cuiabá.

### **4.1 MATERIAIS**

#### **4.1.1 Hardware e Software**

O presente trabalho utilizou *softwares* como ARCVIEW<sup>®</sup> 3.2 (ESRI) para digitalização das ligações do sistema, a extensão GISRED 1.0 para digitalização da rede de distribuição de água em ambiente ARCVIEW, o simulador hidráulico EPANET 2 (ROSSMAN, 2000) desenvolvido pela “U.S. Environmental Protection Agency” – EPA e de domínio público. As simulações foram feitas em microcomputador AMD Athlon<sup>™</sup> XP 2400 + 2GHz 1,00 GB de RAM.

#### **4.1.2 Imagem de Satélite**

A localização das ligações se tornaram mais ágeis com a utilização da Imagem de Satélite QuickBird com resolução espacial de 1 metro, no formato digital, bandas 1, 2 e 3, sendo possível verificar ligações que não estão sendo consideradas, ou mesmo análise de áreas com maior possibilidade de expansão urbana.

#### 4.1.3 Mapas Cadastrais

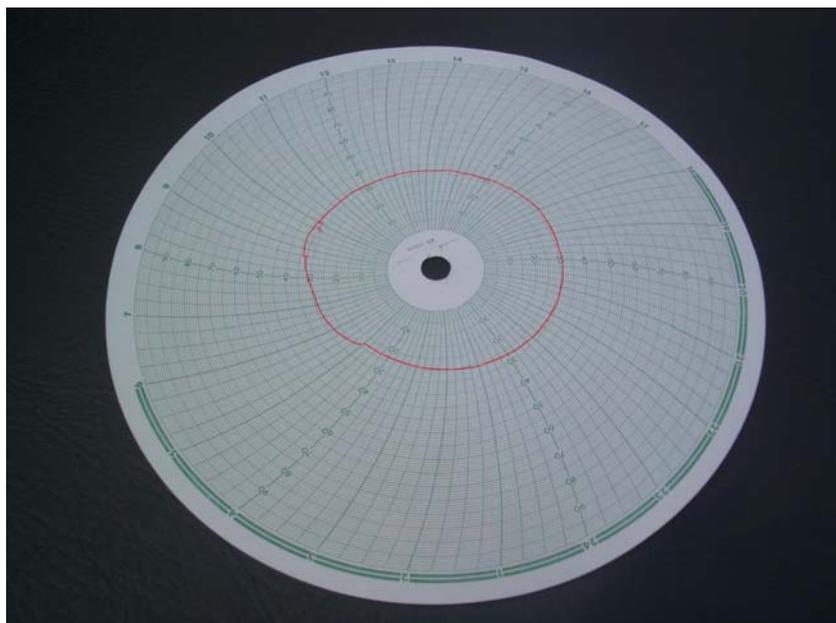
- 12 mapas da rede de distribuição de água; (Escala – 1:10000)
- 62 mapas de rotas que identificavam as ligações; (Escala – 1:2000)
- 5 mapas da subdivisão dos bairros em setores; (Escala – 1:10000)

#### 4.1.4 Equipamentos para medição de pressão e vazão

Para a obtenção de dados de pressão e vazão para uso na calibração do modelo foi utilizado o equipamento tubo de Pitot e registrador (Figura 15) para medição de vazão na saída do sistema e o equipamento registrador de 24 horas para medição de pressão em cavaletes (Figura 19) distribuídos na rede de distribuição de água com o objetivo de calibração dos dados obtidos na simulação. Também foi utilizado o manômetro MBI (0 – 70 m.c.a.), (figura 20) com o objetivo de comparação com o registrador de 24 horas.

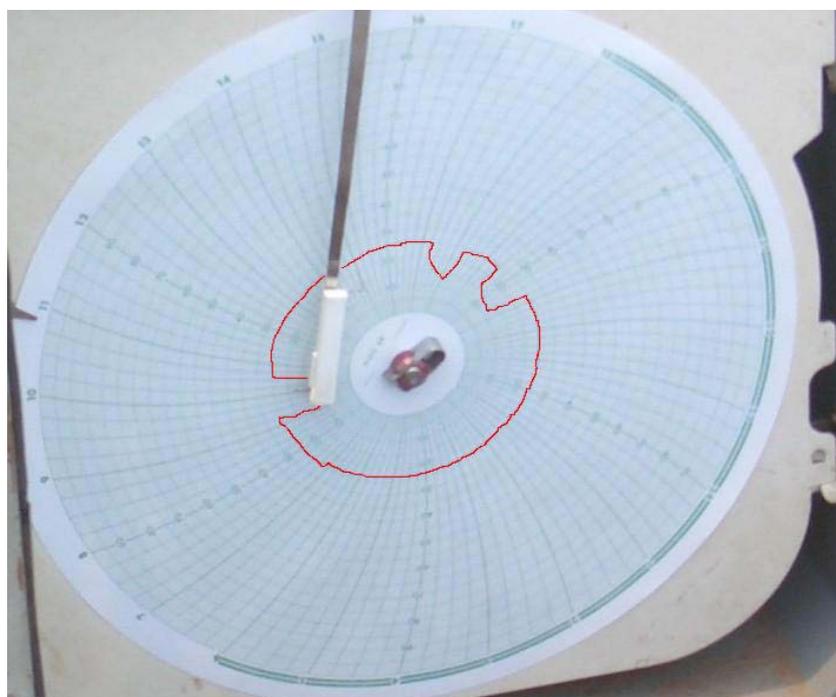


Figura 15 - Medidor de Vazão da Saída das Bombas



**Figura 16 - Detalhe do Gráfico após 24 horas de medição na bomba 01 (Parte Norte do Sistema)**

A figura 16 mostra o gráfico gerado pelo medidor. Esse gráfico é da bomba que direciona a vazão para a parte norte do sistema, como se pode observar que a vazão é praticamente constante 24 horas de funcionamento; diferente da parte sul onde são realizadas manobras, gerando variações expressivas no S.A.A. (figura 17).



**Figura 17 - Detalhe do Gráfico após 24 horas de medição na bomba 02 (Parte Sul do Sistema)**

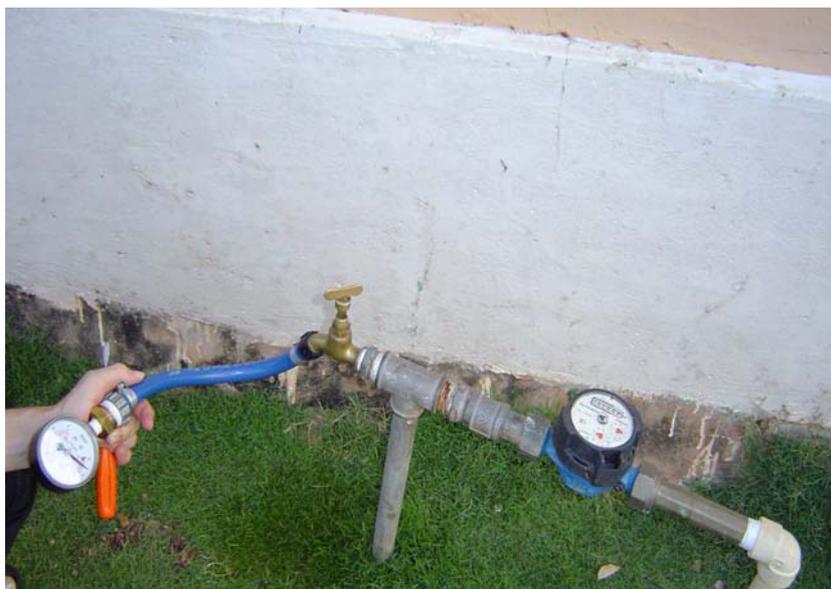


**Figura 18 - Troca de Folha de medição**



**Figura 19 - Registrador para Medição de Pressão em cavalete**

A figura 18 mostra a troca de folha de gráfico na saída dos reservatórios e a figura 19 apresenta o registrador de pressão no cavalete de uma residência.



**Figura 20 - Manômetro acoplado no cavalete**

A figura 20 mostra o primeiro equipamento utilizado pra medição de pressão em cavalete, que foi substituído pelo equipamento mostrado na figura 19.

#### **4.1.5 Modelo Simulador EPANET 2.0**

O modelo EPANET destaca-se entre os demais modelos simuladores por possuir o código fonte do aplicativo aberto á leitura e alterações conforme as necessidades dos interessados, disponíveis na Internet, sem nenhum custo. A figura 21 ilustra a tela de entrada do modelo EPANET.

O programa EPANET versão 2.0, foi desenvolvido com o objetivo de apoiar as unidades gestoras de sistema de abastecimento de água na manutenção de níveis de serviço adequado.



**Figura 21 - Programa EPANET 2.0, versão em português**

O desenvolvimento de um modelo de simulação fiável é, tanto para a componente hidráulica como para a de qualidade da água, uma opção de fundo na gestão moderna de um sistema de abastecimento de água. A utilidade de um modelo de simulação, tanto para a correta exploração dos sistemas – na procura da garantia de satisfação das condições hidráulicas e de qualidade ideais – como para o melhor planeamento das suas expansões e outras intervenções, é incontornável e diariamente atestada pela experiência de inúmeras entidades gestoras em todo o mundo.

O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição em pressão. Uma rede é constituída por tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável. O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo. Adicionalmente, para além de espécies químicas, o cálculo da idade de água e o rastreio da origem de água em qualquer ponto da rede também podem ser levados a cabo (ROSSMAN et. al., 2002).

O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações de sistemas de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto (p. ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos. O EPANET pode ajudar a analisar estratégias alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água através do sistema, através de, por exemplo (ROSSMAN et. al., 2002):

- Alterações na utilização de origens da água num sistema com múltiplas origens;
- Alteração de esquemas de funcionamento de grupos elevatórios e enchimento / esvaziamento de reservatórios de nível variável;
- Utilização de tratamento adicional, como seja a recloração;
- Seleção de tubulações para limpeza e substituição.

Em ambiente *Windows*, o EPANET fornece um ambiente integrado para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos. Estes últimos incluem a possibilidade de visualizar mapas da rede com codificação a cores, tabelas de dados, gráficos de séries temporais e gráficos de isolinhas (ROSSMAN et. al., 2002).

A perda de carga localizada (válvulas) foi adotada através de valores tabelados pelo manual do utilizador do programa EPANET.

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Modelação Matemática

O Modelo EPANET 2.0 utiliza para a obtenção dos valores de pressão e vazão na rede, as equações da continuidade e da conservação da energia e a relação entre a perda de carga e a vazão, que caracterizam as condições de equilíbrio hidráulico da rede num dado instante.

Os dados históricos de comportamento de consumo durante 24 horas para obtenção do Padrão Temporal foram obtidos através da média dos resultados da medição na saída do reservatório no mês de Setembro e Outubro de 2005.

#### 4.2.1.1 Digitalização da rede e alimentação do programa com os dados

Para a entrada de dados no simulador é necessário efetuar a digitalização da rede de distribuição de água em estudo em ambiente SIG, como mostra a figura 22:

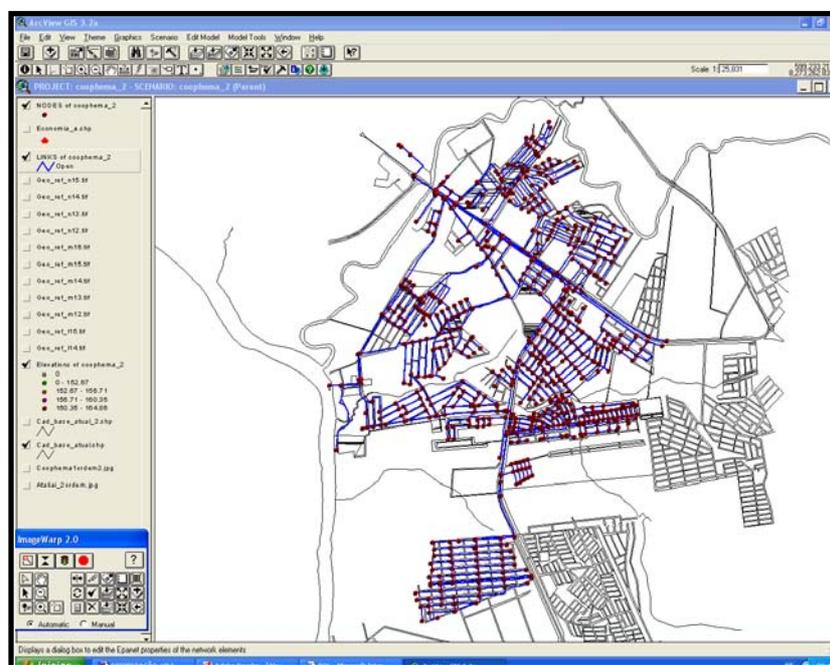


Figura 22 - Esquema geral da rede de distribuição de água do sistema Coophema digitalizada no programa ARCVIEW 3.2 através da extensão GISRED 1.0.

A entrada de dados nos nós (Junction / Junção ou nó) e trechos (Pipes / Tubulações) são através da extensão GISRED 1.0 acoplado ao ARCVIEW (ESRI). A figura 23 mostra as caixas de entrada de dados do programa GISRED 1.0.

The image displays two windows from the GISRED 1.0 software interface. The top window is titled 'JUNCTION PROPERTIES' and the bottom window is titled 'PIPE PROPERTIES'. Both windows have a blue title bar and standard Windows window controls (minimize, maximize, close).

**JUNCTION PROPERTIES Window:**

- Junction:** J263 (selected in a dropdown menu)
- Junction Identification:** Junction: J263, Tag: (empty), Elevation: 153.11 m
- Description:** (empty text field)
- Demands:**
  - Single Base Demand: 5.4 l/s Pattern: (empty dropdown)
  - Multiple Total Base Dem.: (empty) l/s Dem. Categor.: (empty)
  - Emitter Discharge Coeff.: (empty) (l/s)/m<sup>n</sup> Exponent: (empty)
- Quality Model:**
  - Source Initial Qual.: 0 mg/l
  - Source Type: (empty dropdown)
  - Source Qual.: (empty) mg/l Pattern: (empty dropdown)
- Exit** button

**PIPE PROPERTIES Window:**

- Pipe:** P302 (selected in a dropdown menu)
- Pipe Identification:** Pipe: P302, From: J230, To: J233
- Description:** (empty text field)
- Tag:** (empty text field)
- Hydraulic Features:**
  - Length: 395.264 m  AutoLength.: 395.264 m
  - Diameter: 60 mm Loss Coeff.: 0
  - Roughness: 135 Headloss Formula: H<sub>L</sub>w
  - Material: PVC Age (years): 10
  - Calibration Roughness Group: (empty dropdown)
- Quality Features:**
  - Order Bulk Coeff. 1 0 1/day
  - Order Wall Coeff. 1 0 m/day
- Initial Status:** OPEN (selected in a dropdown menu)
- Controls** button
- Exit** button

Figura 23 - Entrada de dados das tubulações e nós respectivamente através da extensão GISRed do programa EPANET.

#### **4.2.1.2 Atributos dos Elementos da Rede**

Para realização da simulação, o programa EPANET requer uma variedade de dados para sua simulação, sendo os principais:

- Diâmetro das tubulações;
- Cotas topográficas;
- Coeficiente de Rugosidade;
- Tipo de material;
- Comprimento;
- Idade da tubulação;
- Consumo no nó;
- Padrão temporal.

##### **4.2.1.2.1 Coeficiente de rugosidade**

Adotou-se o coeficiente de rugosidade (C) igual a 135 para tubulações de PVC e para as tubulações de Cimento Amianto e Ferro Fundido a rugosidade adotada foi de 120 por ter mais de 15 anos em uso.

##### **4.2.1.2.2 Cotas Topográficas**

As cotas topográficas dos nós foram obtidas através da digitalização dos mapas cadastrais que tinham as curvas de níveis de 5 em 5 metros da rede de distribuição.

Através do Modelo Numérico de Terreno foi gerado automaticamente a topologia da rede e criação de tabelas de atributos.

#### **4.2.1.2.3** Estimativa de consumos nos nós

O método utilizado para estimativa do consumo nos nós foi o da área de influência que é baseada na delimitação em planta da área de influência (item 2.5.1.2) de cada nó do modelo, na contabilização do número de consumidores existentes em cada área, e no cálculo dos consumos médios por consumidor, classificados em “Doméstico”, “Comércio”, “Indústria” e “Público”.

Este método foi escolhido com o objetivo de tornar a preparação de dados relativamente simples e rápida, este modelo pressupõe a hipótese simplificativa de se considerar que existe homogeneidade de comportamento entre consumidores, ou seja, foi verificado que a área de estudo é homogeneamente doméstica.

A primeira tentativa para a obtenção do consumo nos nós foi determinar automaticamente através de busca espacial a área de influência de cada nó, mas em função da existência de nós muito próximos uns dos outros, houve erro na execução da tarefa.

A segunda tentativa foi através do método de Thiessen. Este método criou os polígonos, só que em locais onde havia muitos nós próximos um do outro ou muito distantes, não foi possível aproveitar.

A terceira tentativa, sendo a mais trabalhosa e mais confiante seria a digitalização manual, onde se poderia definir realmente qual economia estaria mais próxima de qual nó. Feita a delimitação, considerou-se que cada economia tinha uma percapita de consumo de água de 170 litros/hab/dia e que cada economia tinha 4,33 pessoas. após isso foi realizado por busca espacial a quantidade de ligações por nó em função da delimitação feita, que posteriormente foi obtido através do EXCEL o somatório total de consumo de cada nó. Com isso foi estabelecido o consumo total de cada nó.

#### **4.2.1.2.4** Coeficientes De Correção (K1 E K2)

Utilizando as médias mensais de demandas, é desnecessária a correção para o dia de maior consumo (k1).

O EPANET utiliza um histograma de consumo, no qual ficam implícitas as variações horárias ( $K_2$ ). Desta forma não se faz necessária a correção direta da demanda para hora de maior consumo.

## **4.2.2 Sistema de Informação Geográfica**

### **4.2.2.1 Mapas Cadastrais**

Os dados sobre o sistema de abastecimento de água CoopHEMA foram adquiridos na Companhia de Saneamento da Capital (SANECAP), em formato de planilhas e mapas que foram descritos no tópico Materiais.

Os mapas da rede de distribuição de água foram escaneados, sendo posteriormente georeferenciados e digitalizados a partir da codificação das plantas cadastrais com a utilização da extensão GISRed 1.0 do programa EPANET 2.0, acoplado no programa ARCVIEW 3.2 (ESRI). Os demais mapas de rotas e setores foram escaneados, georeferenciados e digitalizados somente com o programa ARCVIEW 3.2.

Todas ligações foram georeferenciadas através de mapas de rota figura 22, e para ter vínculo com as planilhas da SANECAP, em seguida relacionadas com número de codificação.

Para viabilizar o relacionamento dos dados cadastrais comerciais disponibilizados pela SANECAP com os temas espaciais no programa ARCVIEW 3.2, foi utilizado o banco de dados Access para melhor manipulação dos dados.

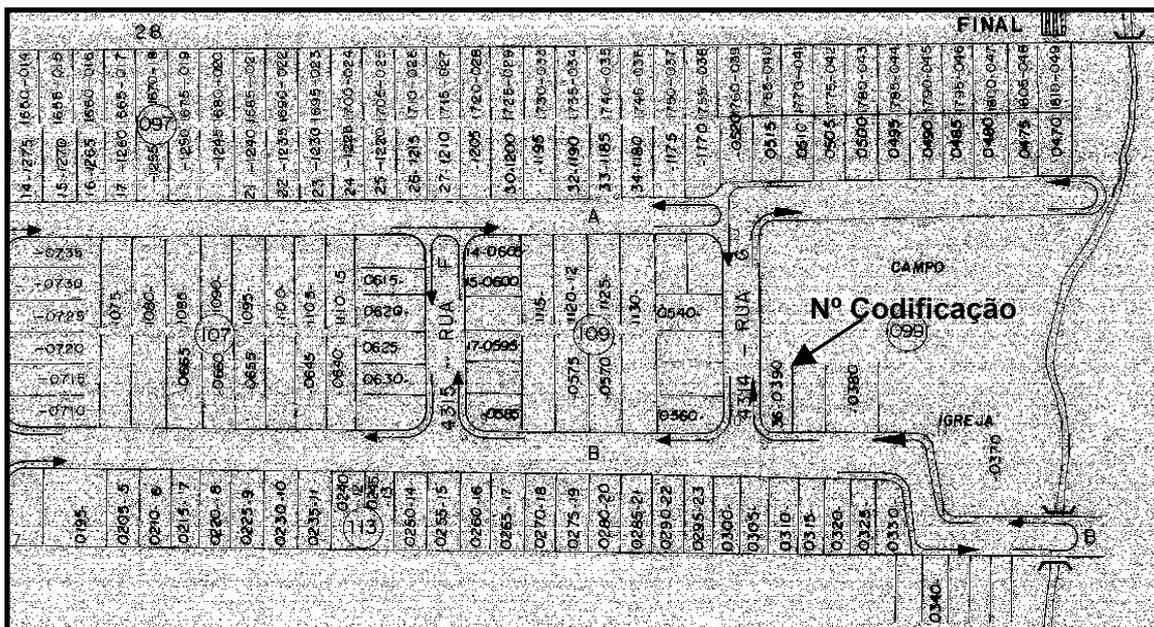


Figura 24 - Mapa de Rota

Dados como localização de registros, procedimentos para manobras e características das bombas do sistema foram repassados verbalmente pelos operadores da rede de distribuição de água.

#### 4.2.3 Medição de pressão em campo para validação

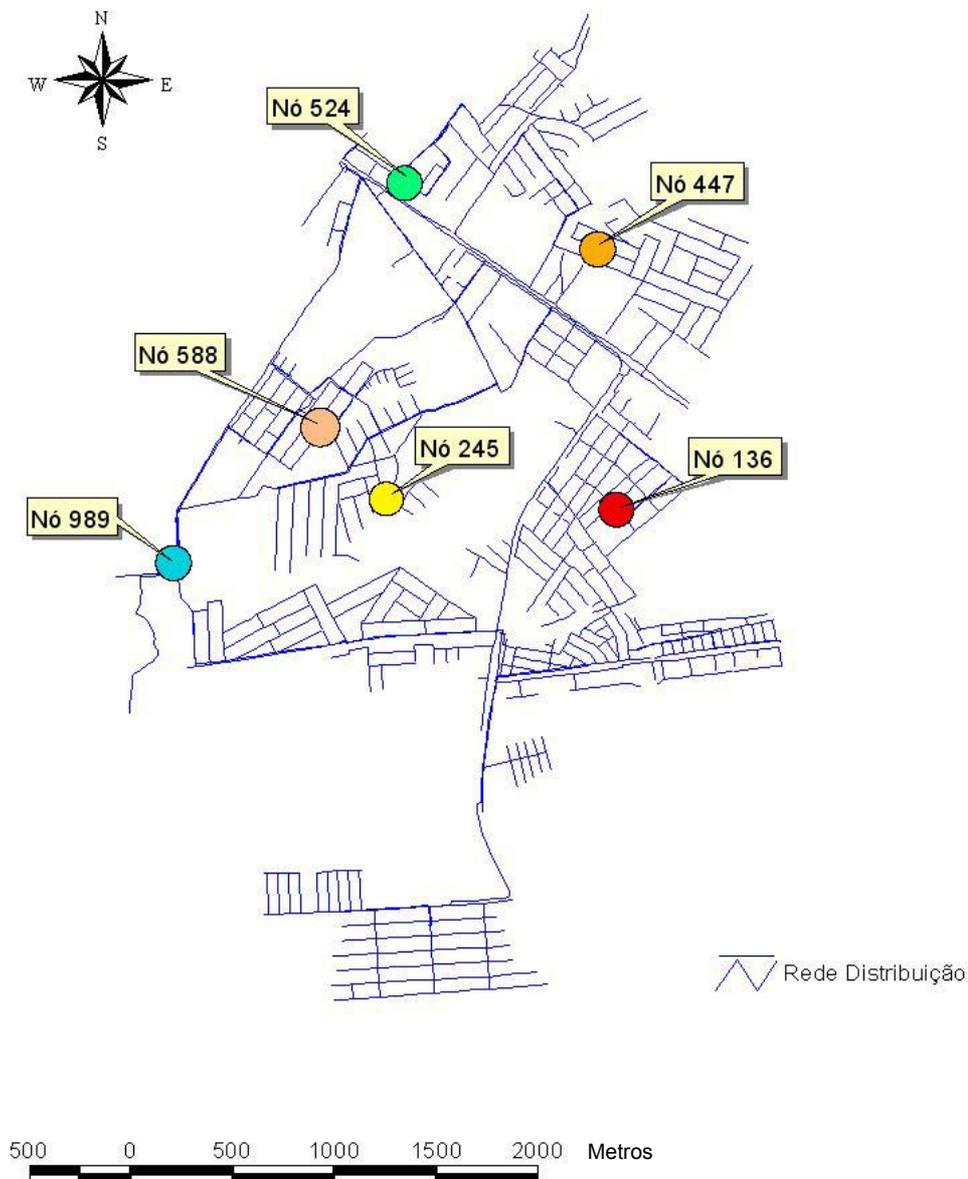
##### 4.2.3.1 Escolha dos Pontos de Monitoramento de Pressão Necessárias Para Calibração

Os pontos para a aquisição de dados necessários à validação foram escolhidos de forma a abranger a maior área possível da rede em estudo e em função do número de equipamentos disponíveis.



**Figura 25 - Aquisição de dados de pressão em cavaletes**

### Localização dos pontos de monitoramento



**Figura 26 - Localização espacial dos pontos (nós) de monitoramento de pressão**

SCHAETZEN et al. (1990) e SCHAETZEN, WALTERS & SAVIC (2000) concluíram que os melhores pontos de observação são os nós nas extremidades da rede, onde a variação da pressão é maior, e que os pontos de observação devem ser distribuídos ao longo da rede.

A localização dos pontos monitorados e o tempo de medição está descrita na tabela 04:

**Tabela 4 - Localização dos pontos monitorados**

| Nó             | Local                          | Tempo de Medição |
|----------------|--------------------------------|------------------|
| Bomba 1195 (1) |                                |                  |
| 136            | Bairro Nossa Senhora Aparecida | 48 horas         |
| 245            | Bairro Jd. Gramado             | 24 horas         |
| 447            | Parque Ohara                   | 48 horas         |
| 524            | Chácara dos Pinheiros          | 48 horas         |
| 588            | Bairro Coophema                | 96 horas         |
| V989           | Saída do reservatório          | 120 horas        |

#### ***4.2.3.2 Monitoramento da Vazão na Saída do Sistema de Abastecimento Necessários para Calibração***

As medições de vazão ocorreram nos meses de Setembro e Outubro / 2005 pelos funcionários da SANECAP. As folhas gráficas (figura 15) ficaram um período de 24 horas medindo a vazão das duas saídas das bombas. Os dados obtidos foram utilizados para conhecimento da vazão.

#### **4.2.4 Calibração**

O método utilizado para tentativa de calibração foi um método desenvolvido por SOARES, 2003, que visa o desenvolvimento de uma rotina computacional que considere as perdas por vazamento e a dependência das demandas com a pressão, acoplada ao simulador hidráulico EPANET, com vistas á calibração em termos da comparação de dados observados e simulados de rugosidades absolutas, demandas, diâmetros, cotas topográficas e parâmetros do modelo de vazamentos, bem como a localização de componentes hidráulicos na rede. Para tanto, utilizam-se modelos inversos resolvidos com o suporte da tecnologia dos Algoritmos Genéticos (AGs) e procedimento híbrido (AGs e Método Simplex – NELDER & MEAD, 1965)

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na utilização do SIG e na aplicação do modelo EPANET para o subsistema CoopHEMA da cidade de Cuiabá.

Com o SIG pode-se armazenar, integrar e manipular todas as informações de base permitindo a geração de mapas temáticos.

### **5.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

#### **5.1.1 Validação dos dados cadastrais**

Um dos problemas identificado foi a falta de sistematização do cadastro de informação do sistema de abastecimento existente. Dentre os vários problemas levantados estavam a desatualização e a falta de informações em meio digital. Estes fatores aumentaram muito o esforço de georeferenciamento desses elementos.

Em primeiro momento a importância do conhecimento da distribuição espacial das ligações era em função da necessidade de obtenção de dados da quantidade de ligações por nó na rede de distribuição para fins de cálculo de consumo de água nodal.

No decorrer das atividades verificou-se que com o georeferenciamento das ligações e posteriormente o relacionamento com o banco de dados do setor comercial foi possível verificar várias inconsistências e inexistência de dados espaciais ou mesmo no formato de dados cadastrais das ligações em planilhas.

A figura 27 mostra a distribuição espacial das ligações obtidas em função de dados obtidos em formato de desenho (Rota) na área de estudo.



**Figura 27 - Distribuição Espacial das Ligações de água no Sistema de Abastecimento Coophema**

Segundo PINA (1994) apud CARVALHO et.al. (2000), dados incorretos ocasionarão erros gerenciais e desperdício em todas as dimensões de um processo gerencial, público ou privado.

O total de ligações contabilizadas ao final do georeferenciamento de todos mapas de rotas foram de 6.918 ligações, confrontando com 6.715 das planilhas do setor comercial (SANECAP), no qual foram considerados loteamentos que estavam em fase de implantação.

Deste total de 6715 ligações, 945 ligações somente existiam nas planilhas do banco de dados comercial da SANECAP, portanto foram utilizadas no programa ArcView 5.770 ligações. E 593 ligações somente existiam nos mapas de rotas do setor de projeto. Sendo que 555 ligações não existiam nem nos mapas de rota nem nas planilhas do banco de dados comercial, obtidos através de imagem de satélite.

A figura 28 mostra a inconsistência encontrada em uma das partes do sistema.

Os símbolos pretos (Figura 28) representam domicílios que somente estavam cadastrados nos mapas das rotas, sendo inexistentes nas planilhas do banco de dados a empresa.

Segundo informação da SANECAP isso ocorre em função do bairro ser de recente implantação ou em função da demora no cadastramento comercial.

Com a visualização espacial desses dados, fica evidente o benefício que o sistema de informação geográfica pode proporcionar, funcionando como um verificador da credibilidade dos dados.

O armazenamento, a integração e a manipulação de toda a informação de base permitiu a geração de mapas temáticos, a gestão da informação resultantes da análise espacial.

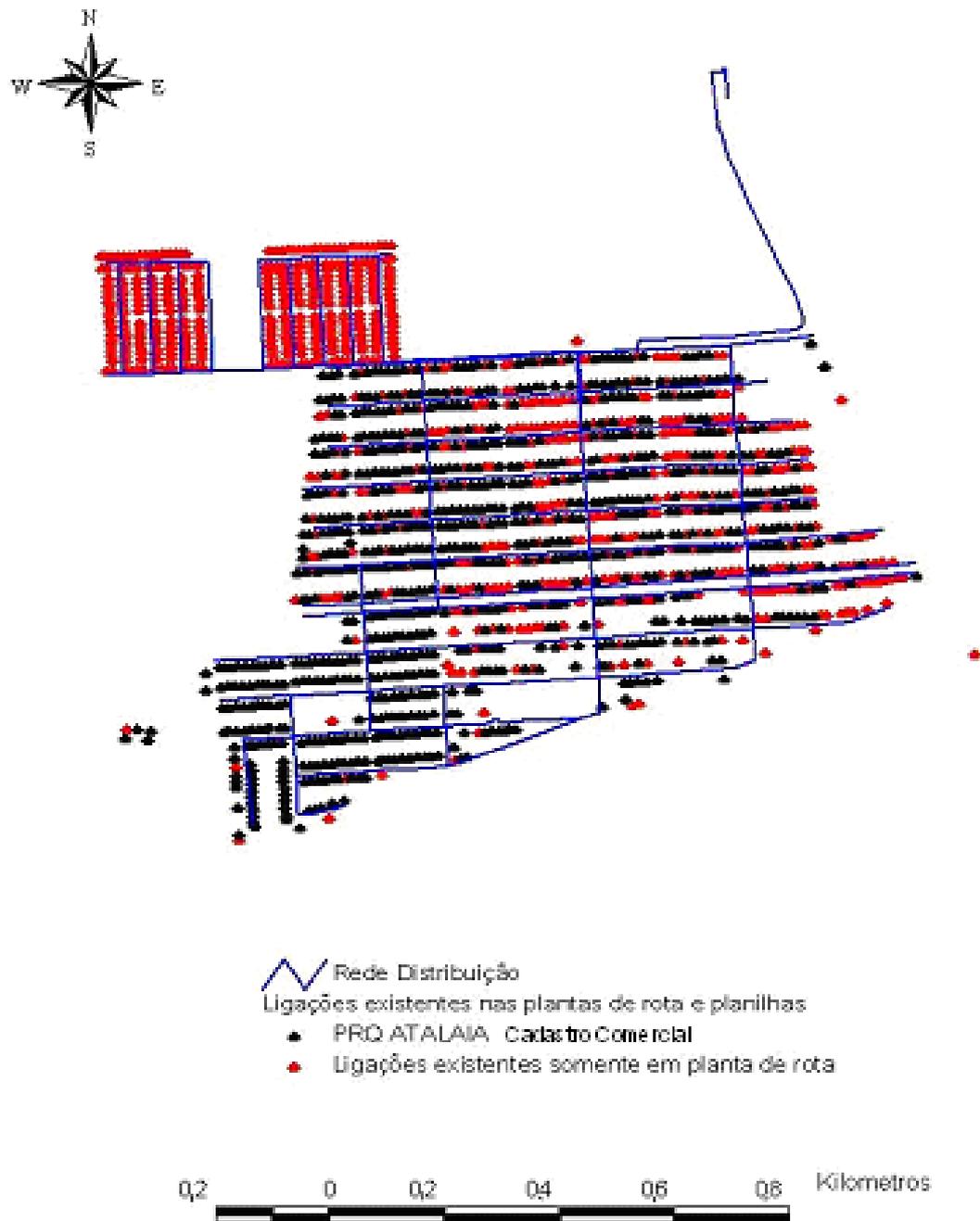
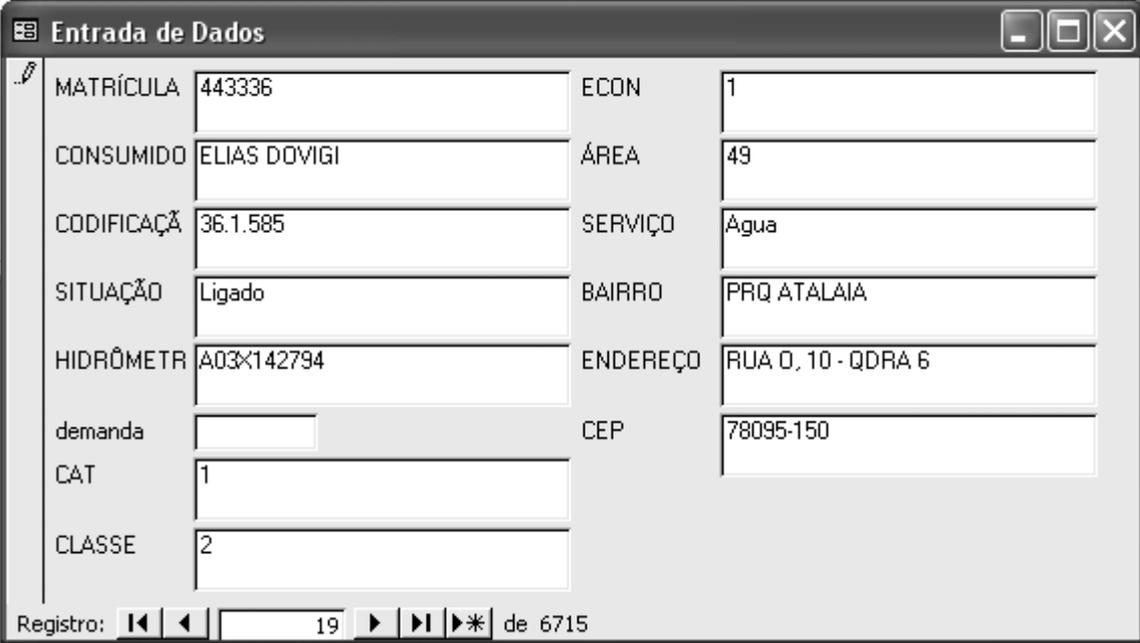


Figura 28 - Inconsistências encontradas nas bases de dados do Sistema de Abastecimento CoopHEMA

Portanto, especial atenção deve ser dada ao cadastro de consumidores e sua permanente atualização.

Para a atualização e entrada de novos dados, foi criada uma entrada de dados (Figura 29) através do Access para garantir e validar a integridade do banco de dado existente.



The image shows a screenshot of a Microsoft Access data entry form titled "Entrada de Dados". The form is organized into two columns of fields. The left column contains: MATRÍCULA (443336), CONSUMIDO (ELIAS DOVIGI), CODIFICAÇÃO (36.1.585), SITUAÇÃO (Ligado), HIDRÔMETR (A03X142794), demanda (empty), CAT (1), and CLASSE (2). The right column contains: ECON (1), ÁREA (49), SERVIÇO (Água), BAIRRO (PRQ ATALAIA), ENDEREÇO (RUA O, 10 - QDRA 6), and CEP (78095-150). At the bottom of the form, there is a navigation bar with the text "Registro: 19 de 6715" and several navigation icons (back, forward, search, etc.).

|             |              |          |                    |
|-------------|--------------|----------|--------------------|
| MATRÍCULA   | 443336       | ECON     | 1                  |
| CONSUMIDO   | ELIAS DOVIGI | ÁREA     | 49                 |
| CODIFICAÇÃO | 36.1.585     | SERVIÇO  | Água               |
| SITUAÇÃO    | Ligado       | BAIRRO   | PRQ ATALAIA        |
| HIDRÔMETR   | A03X142794   | ENDEREÇO | RUA O, 10 - QDRA 6 |
| demanda     |              | CEP      | 78095-150          |
| CAT         | 1            |          |                    |
| CLASSE      | 2            |          |                    |

Registro: 19 de 6715

**Figura 29 - Entrada de dados**

Foi verificada a existência de ligações localizadas em locais inexatos. Através da figura 30 observa-se que três ligações estão em localização errada, devendo ter correção nas planilhas do nome do bairro ou sua codificação. Observe que três ligações do bairro Jd. Presidente II estão no meio do bairro São Gonçalo.



**Figura 30 - Informação Inconsistentes de Localização das Ligações**

### **5.1.2 Distribuição Espacial dos Dados Disponibilizados Pelos Mapas de Rede e Rotas**

A utilização da informática tem colaborado decisivamente na organização e disponibilização da informação geográfica. A seguir serão apresentados os mapas temáticos feitos através do software ArcView 3.2 como suporte ao gerenciamento de sistemas de abastecimento de água.

### 5.1.2.1 Distribuição Espacial dos Sistemas de Abastecimento de água em Cuiabá

Na figura 31 é apresentada a distribuição espacial dos sistemas de abastecimento de água da Capital Cuiabá obtida através do Sistema de Informação Geográfica.

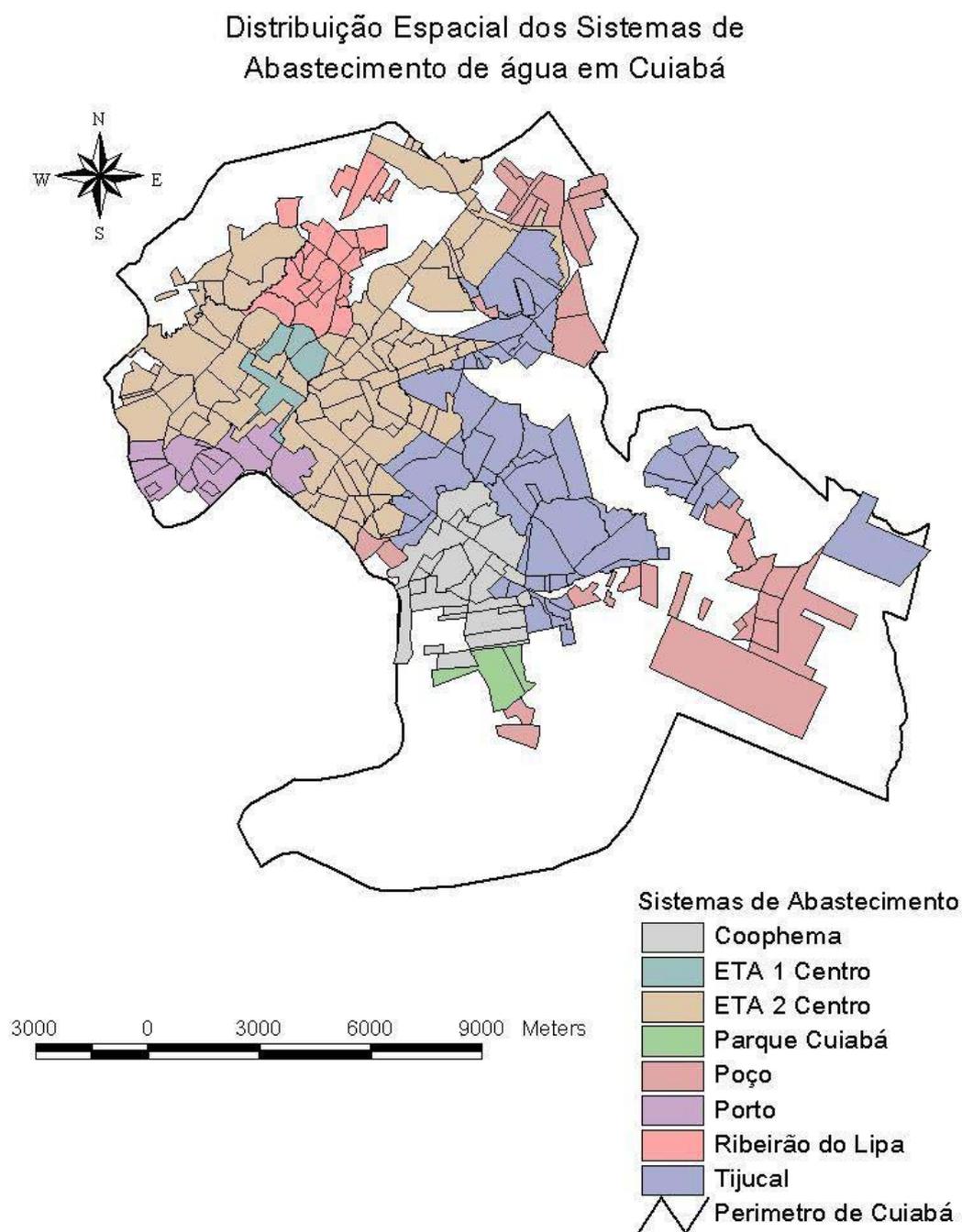


Figura 31 - Distribuição espacial dos sistemas de abastecimento de água em Cuiabá

Na figura 32 é apresentado a localização espacial do Sistema de Abastecimento CoopHEMA na cidade de Cuiabá obtida através do Sistema de Informação Geográfica..

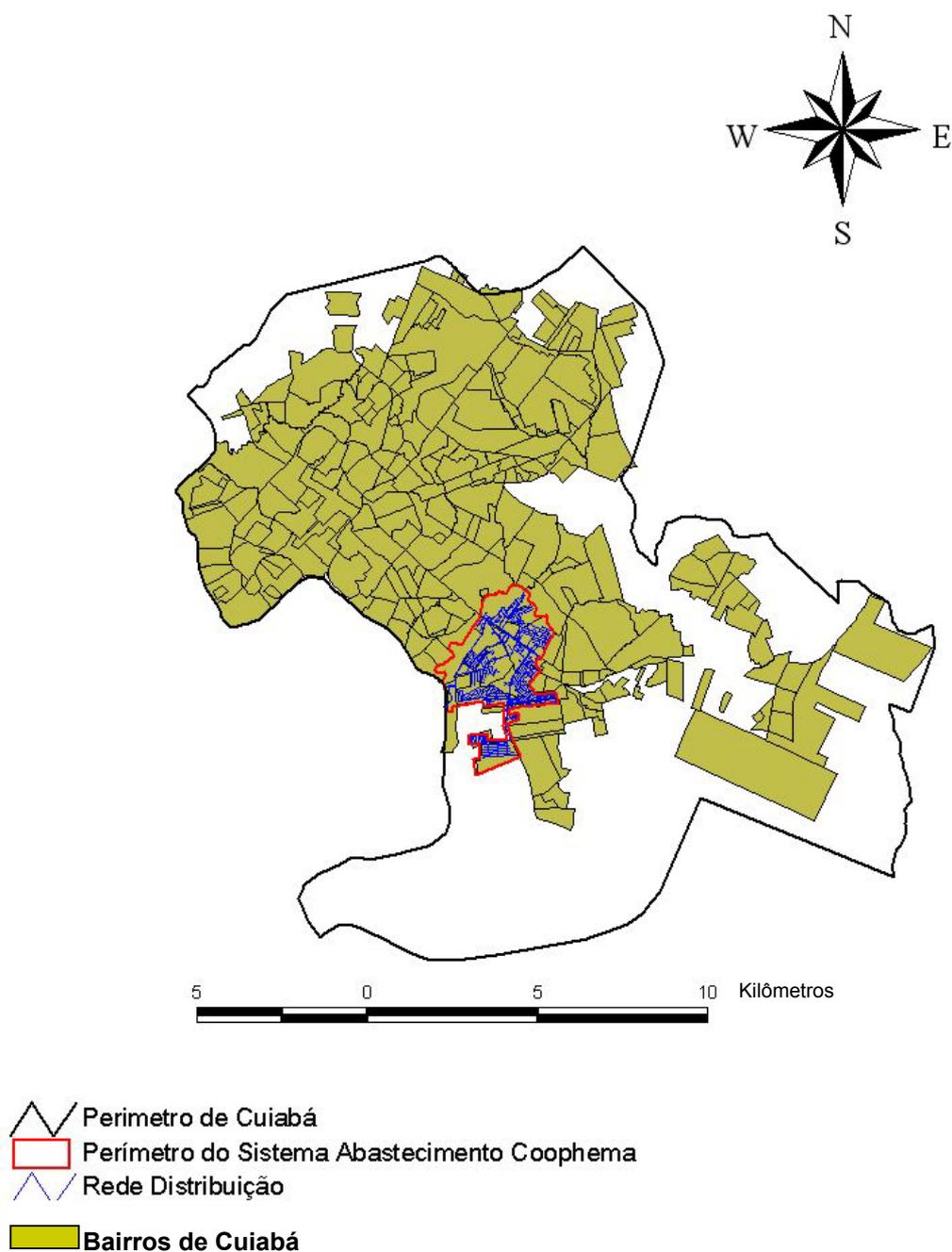


Figura 32 - Localização do Sistema de Abastecimento CoopHEMA em Cuiabá

### 5.1.2.2 Distribuição Espacial da Rede de Distribuição

A rede distribuição foi digitalizada através da extensão GisRed 1.0 acoplado ao software ArcView 3.2. Na figura 33 visualiza-se o sistema de abastecimento CoopHEMA completo e os detalhes ( 1 e 2 ) da localização do reservatório e bombas existentes.

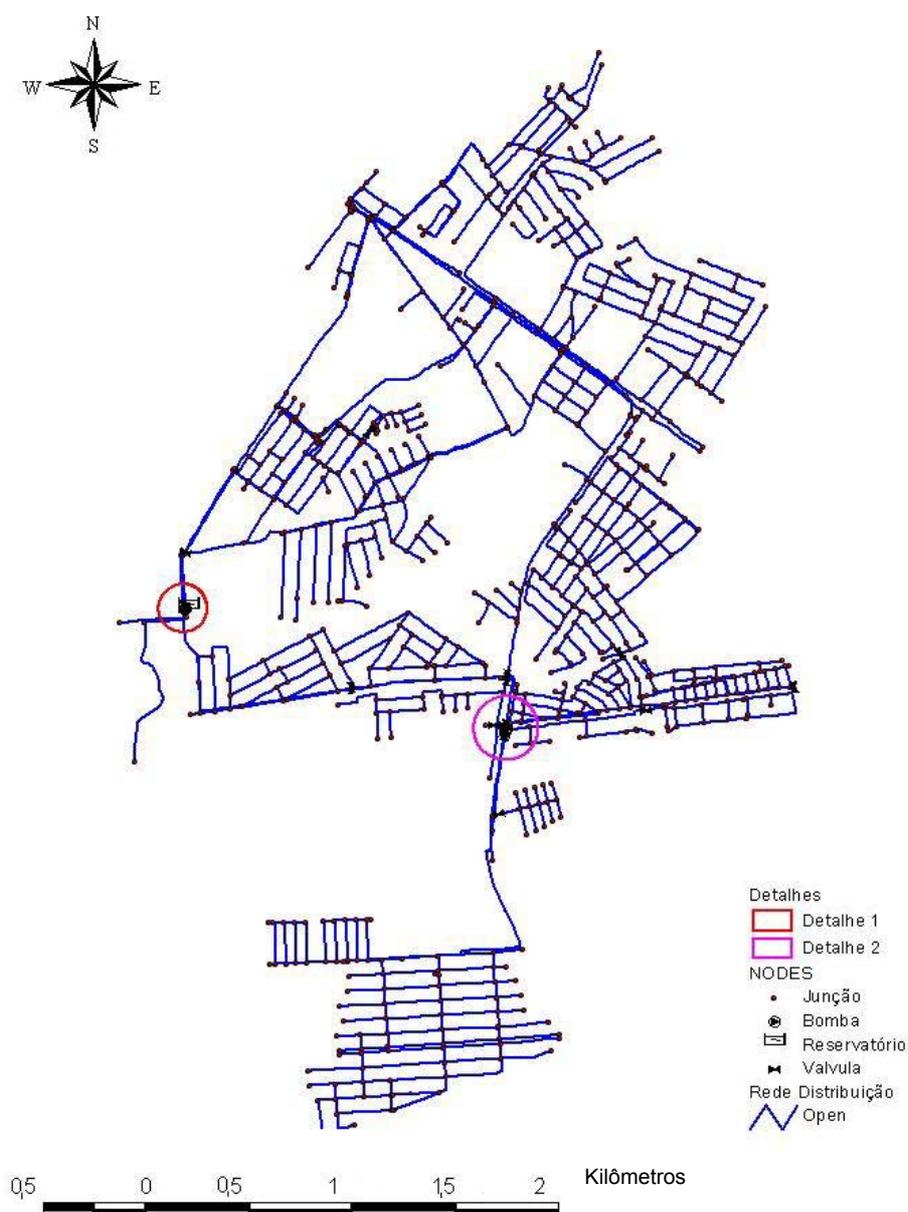
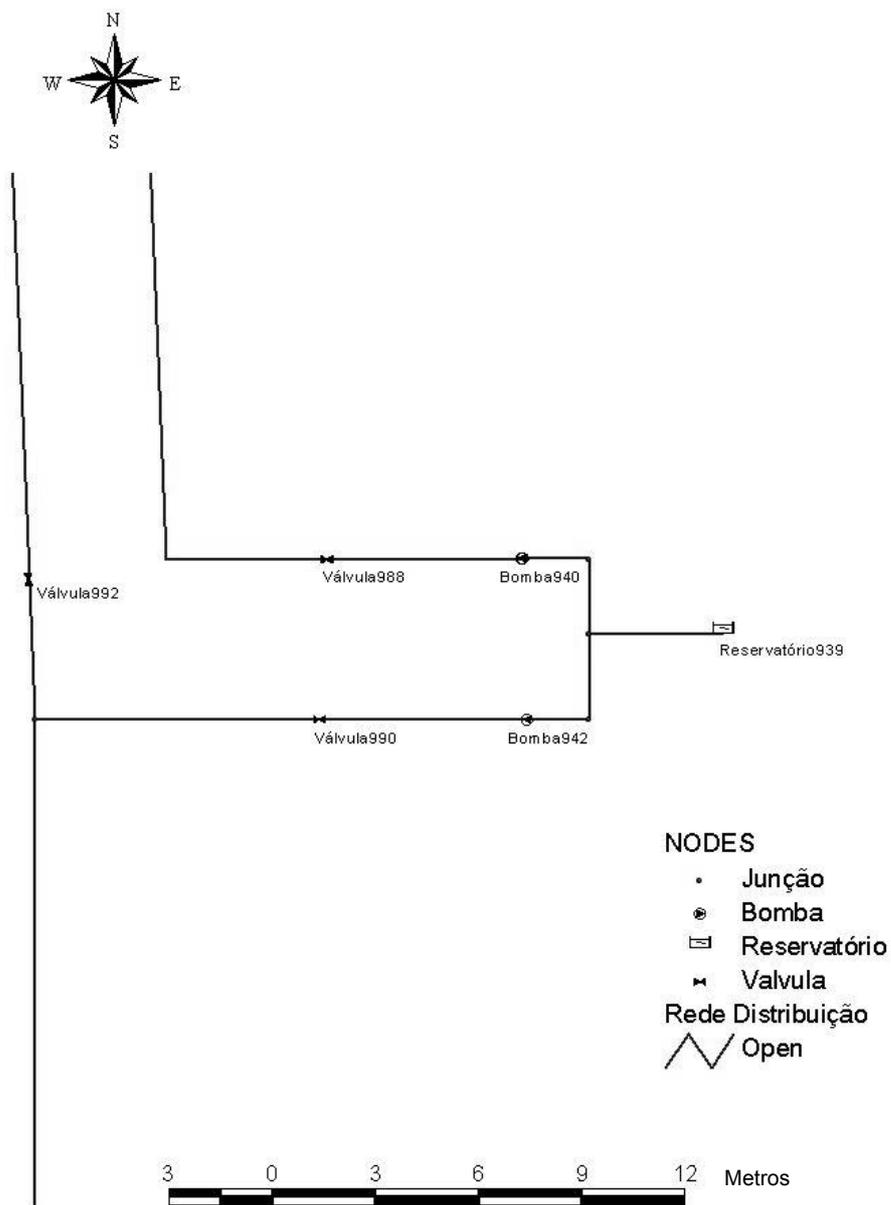


Figura 33 - Distribuição espacial do Sistema de Abastecimento CoopHEMA

Os detalhes 1 e 2 que estão ilustrados na figura 33, mostra o detalhe 1 que é o reservatório na estação de tratamento Coophema e as duas bombas utilizadas para direcionar água tratada para os bairros. O detalhe 2 mostra o booster utilizado para pressurizar a rede dos bairros São Gonçalo, Mossoró e Parque Atalaia.



**Figura 34 - Detalhe 1 – Reservatório e Bombas**

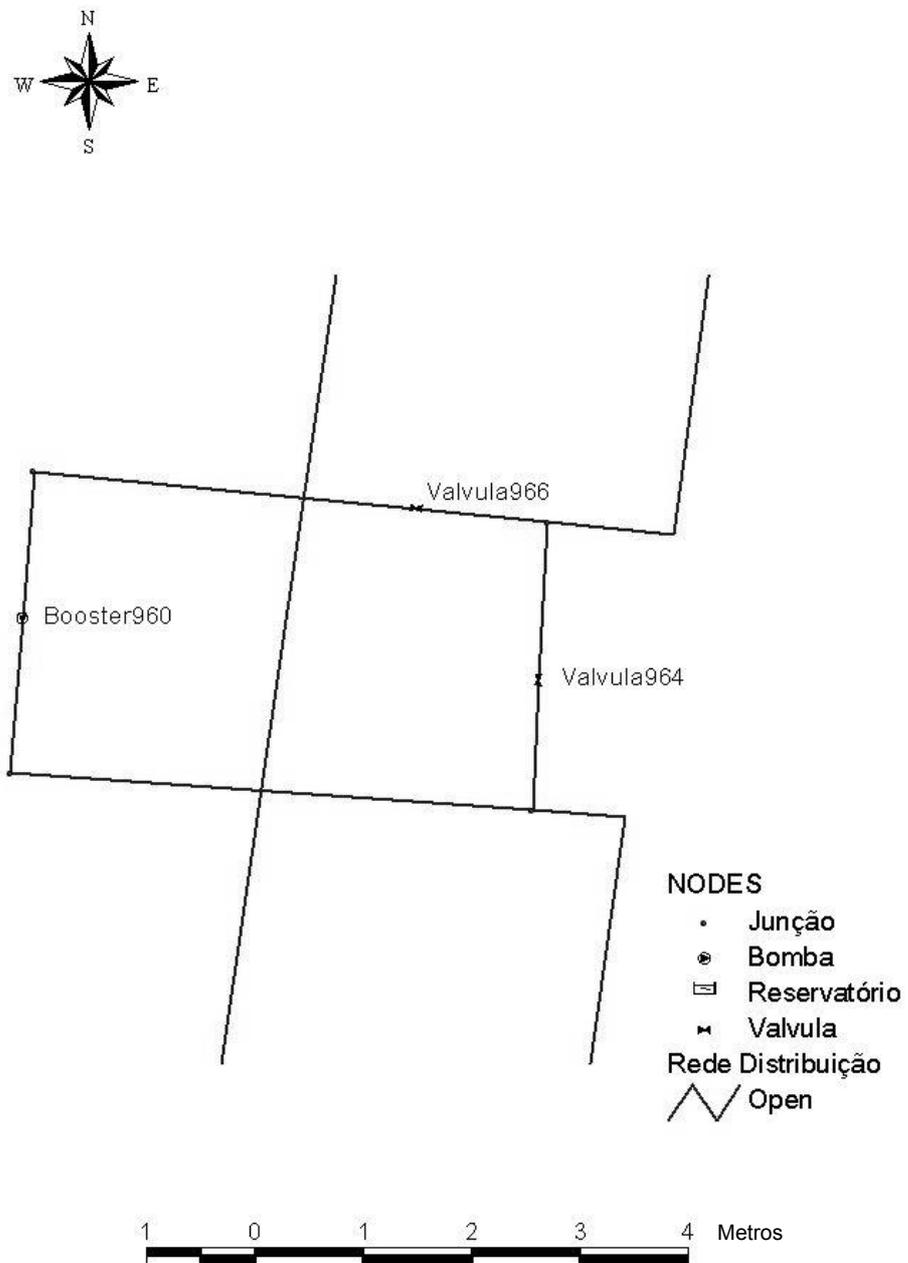
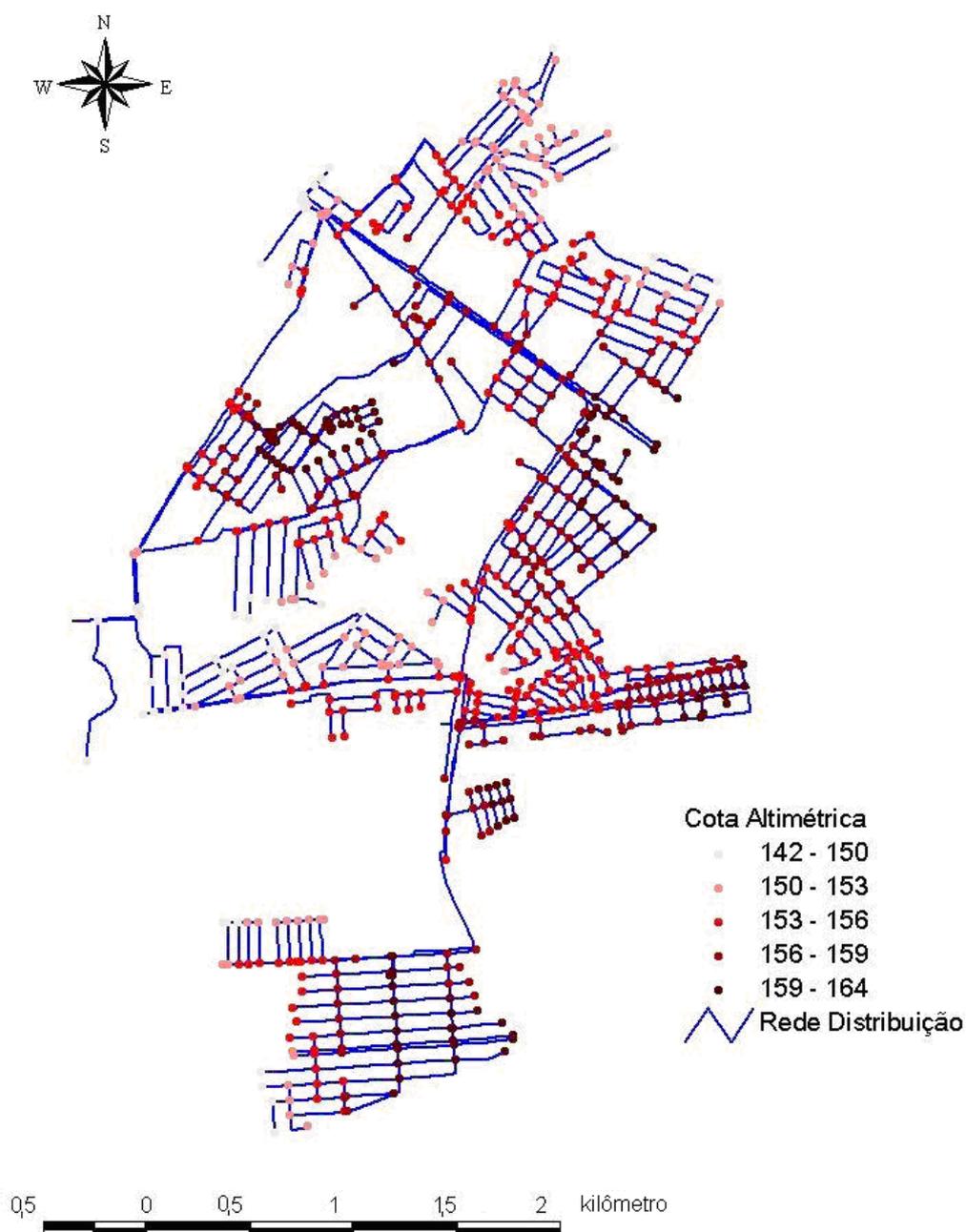


Figura 35 - Detalhe 2 – Booster

### 5.1.2.3 Cotas Altimétricas

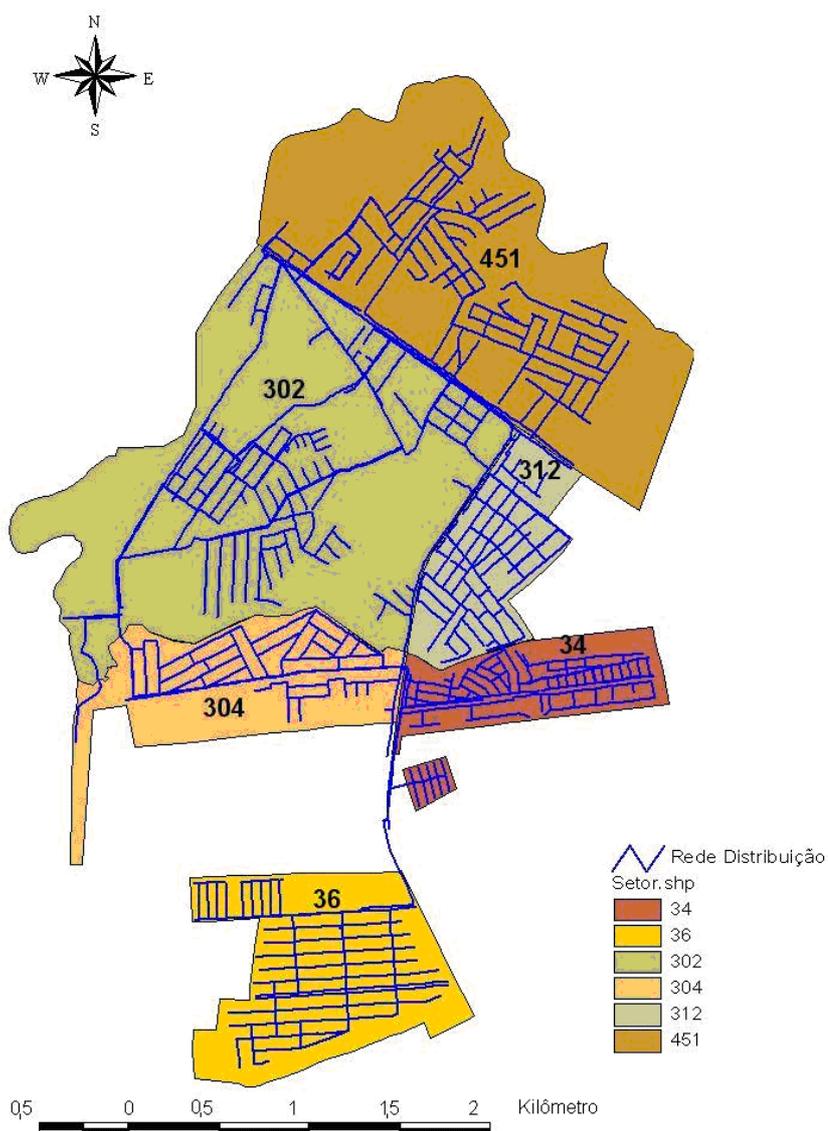
As cotas altimétricas de cada nó do sistema foram obtidas através de curvas de nível que foram geradas através do Método Numérico do Terreno (MNT) e em seguida, por busca espacial atribuídos a elevação de cada cota. A figura 36 mostra a distribuição das cotas topográficas do sistema de abastecimento.



**Figura 36 - Distribuição Espacial das cotas altimétricas do Sistema de abastecimento CoopHEMA**

A importância do conhecimento das cotas altimétricas para o estudo foi em função do programa simulador das características hidráulicas do sistema (EPANET) necessitar destes dados para cálculos hidráulicos.

#### 5.1.2.4 Distribuição Espacial da Divisão dos Setores



**Figura 37 - Distribuição Espacial da Divisão do Sistema de abastecimento por Setores**

### 5.1.2.5 Distribuição Espacial das Subdivisões dos Setores em Rotas

A utilização das subdivisões dos setores em rotas tem como objetivo na empresa a identificação das ligações para entrega de contas de água e esgoto. No presente estudo a importância é para o conhecimento do número da codificação de cada economia para posterior relacionamento com as planilhas de cadastro e sua localização espacial. Na figura 38 é apresentada a subdivisão dos setores em rotas.

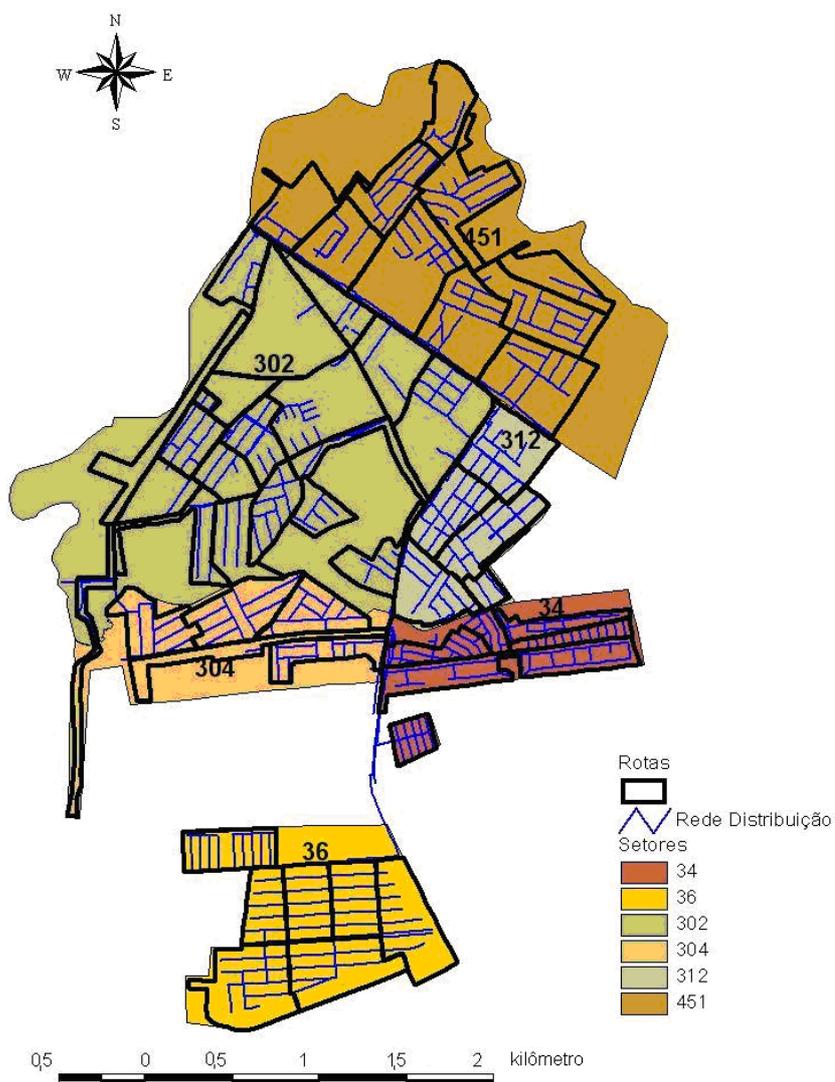


Figura 38 - Distribuição Espacial da Subdivisão dos Setores em Rotas

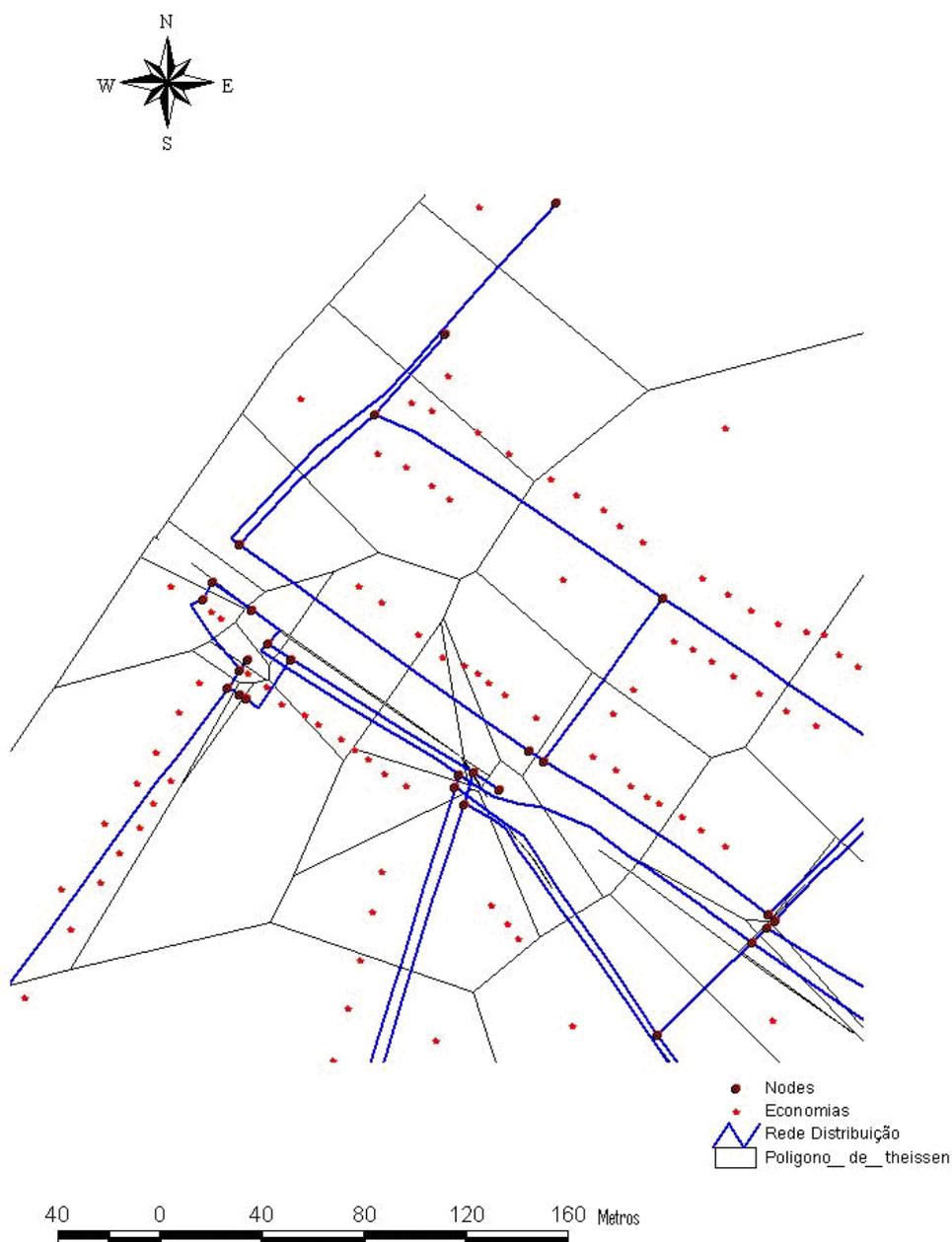
### 5.1.2.6 Distribuição Espacial dos Polígonos de Influência de Cada Nó

A estimativa do consumo de água em cada nó foi realizada por meio do método das áreas de influência. Para isso foram utilizados três tipos de métodos para posterior escolha do método definitivo, o primeiro método descrito no subitem 4.2.1.2.3 que não gerou os polígonos em função da distribuição não uniforme dos nós. A segunda pelo método de Thiessen gerou os polígonos como apresentado na figura 39.



Figura 39 - Polígonos Gerados pelo Método de Thiessen

O método de Thiessen foi utilizado para verificar se o mesmo gerava bons resultados. Verificou-se que quando os nós estão numa distância uniforme entre si, o método de Thiessen gerou polígonos coerentes, mas quando os nós estão muito distantes uns dos outros ou muito perto, a divisão se torna incoerente. A figura 40 mostra uma parte do sistema com este problema.



**Figura 40 - Problemas Encontrados no Método de Thiessen**

A terceira opção foi digitalizar manualmente os polígonos, tendo o benefício de analisar se realmente a ligação de água fazia parte do nó mais próximo. Podendo também analisar quais nós ficariam sem consumo.

Na figura 41 se visualizam os polígonos utilizados no estudo para distribuição de consumo de água nos nós.



Figura 41 - Polígonos de consumo de água no nó

Ao final foram considerados para cálculo 624 nós do total de 949 nós, pois quando se tem nós muito próximos, necessita-se verificar qual será considerado. Foi considerado para termos de cálculo que cada economia tem uma média de 4,33 pessoas (IBGE, 1991) e foi adotado que cada pessoa tenha uma percapita de água de 170 litros/ hab/dia. É importante destacar que uma ligação pode ter mais de uma economia (residência), e que isso foi considerado nos cálculos.

#### ***5.1.2.7 Distribuição Espacial do Diâmetro das Tubulações***

Através da figura 42 é apresentada a distribuição dos diâmetros das tubulações gerada pelo software ArcView. O conhecimento do valor do diâmetro é atributo utilizado nos cálculos hidráulicos. Através da Figura 42 é possível visualizar que na região próximo do bairro Nossa Senhora Aparecida (Figura 07) a rede primária não forma anel, o que pode acarretar em problemas de baixas pressões.

A visualização espacial dos diâmetros possibilita a verificação da existência dos tipos de rede que predomina o sistema.

O comprimento total da rede de distribuição é 110.479,837 metros, subdividido da seguinte forma:

- Diâmetro de 50 mm = 10.219,59 metros, equivalente a 9 % do total;
- Diâmetro de 60 mm = 51.773,87 metros, equivalente a 47 % do total;
- Diâmetro de 75 mm = 5.886,57 metros, equivalente a 5 % do total;
- Diâmetro de 85 mm = 7.595,62 metros, equivalente a 7 % do total;
- Diâmetro de 100 mm = 2.261,33 metros, equivalente a 2 % do total;
- Diâmetro de 110 mm = 11.867,88 metros, equivalente a 11 % do total;
- Diâmetro de 140 mm = 1.116,86 metros, equivalente a 1 % do total;
- Diâmetro de 150 mm = 5.634,93 metros, equivalente a 5 % do total;
- Diâmetro de 160 mm = 2.349,33 metros, equivalente a 2 % do total;

- Diâmetro de 200 mm = 4.922,18 metros, equivalente a 4 % do total;
- Diâmetro de 250 mm = 6.101,00 metros, equivalente a 6 % do total;
- Diâmetro de 300 mm = 741,67 metros, equivalente a 1% do total.

**Tabela 5 - Resumo de características do Sistema CoopHEMA**

| SISTEMA COOPHEMA                 |             |                    |    |        |       |       |
|----------------------------------|-------------|--------------------|----|--------|-------|-------|
| Comprimento Total = 110.479,837m |             |                    |    |        |       |       |
| Diâmetro                         | Comprimento | Tipo de Material % |    |        |       |       |
|                                  |             | PVC                | FF | DFF    | CA    |       |
| 50                               | 10219,599   | 33,33              |    | 1,19   | *     | 65,48 |
| 60                               | 51773,87    | 100                | *  |        | *     | *     |
| 75                               | 5886,575    | 95,24              | *  |        | *     | 4,76  |
| 85                               | 7595,621    | 98,76              | *  |        | *     | 1,24  |
| 100                              | 2261,331    | 29,17              | *  |        | *     | 70,83 |
| 110                              | 11867,875   | 100                | *  |        | *     | *     |
| 140                              | 1116,857    | 100                | *  |        | *     | *     |
| 150                              | 5634,929    | 8,33               |    | 58,33  | 33,33 | *     |
| 160                              | 2349,329    | 100                | *  |        | *     | *     |
| 200                              | 4922,183    | 10,26              |    | 25,64  | 41,03 | 23,08 |
| 250                              | 6109,998    | 11,76              | *  |        | 88,24 | *     |
| 300                              | 741,67      | *                  | *  |        | 100   | *     |
| REDE TOTAL - MATERIAL%           |             |                    |    |        |       |       |
|                                  |             | Cimento            |    |        |       |       |
|                                  |             | Amianto            |    |        |       |       |
|                                  |             | (CA)               |    | 8,81   |       |       |
|                                  |             | DFF                |    | 5,492  |       |       |
|                                  |             | FF                 |    | 3,32   |       |       |
|                                  |             | PVC                |    | 82,378 |       |       |

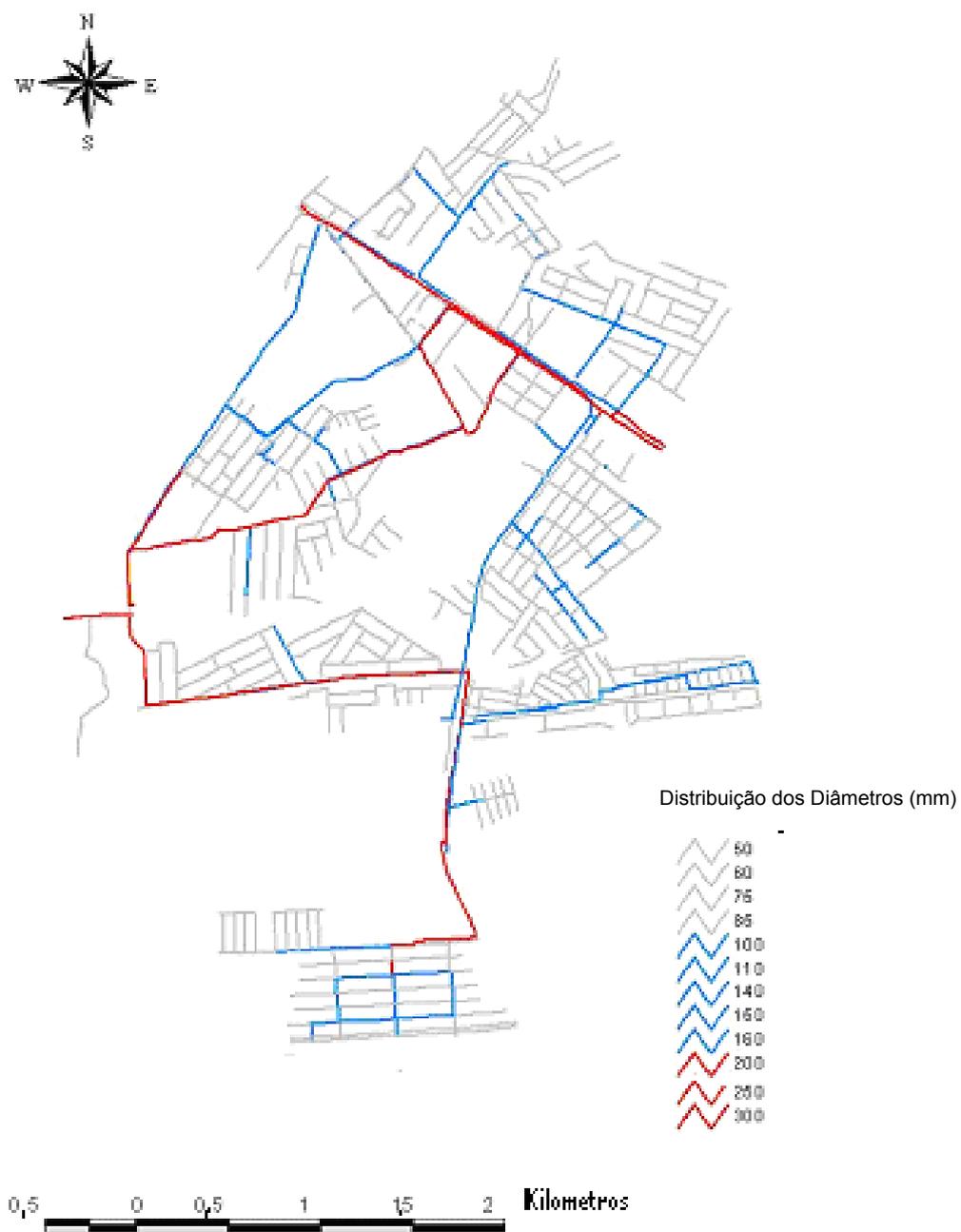
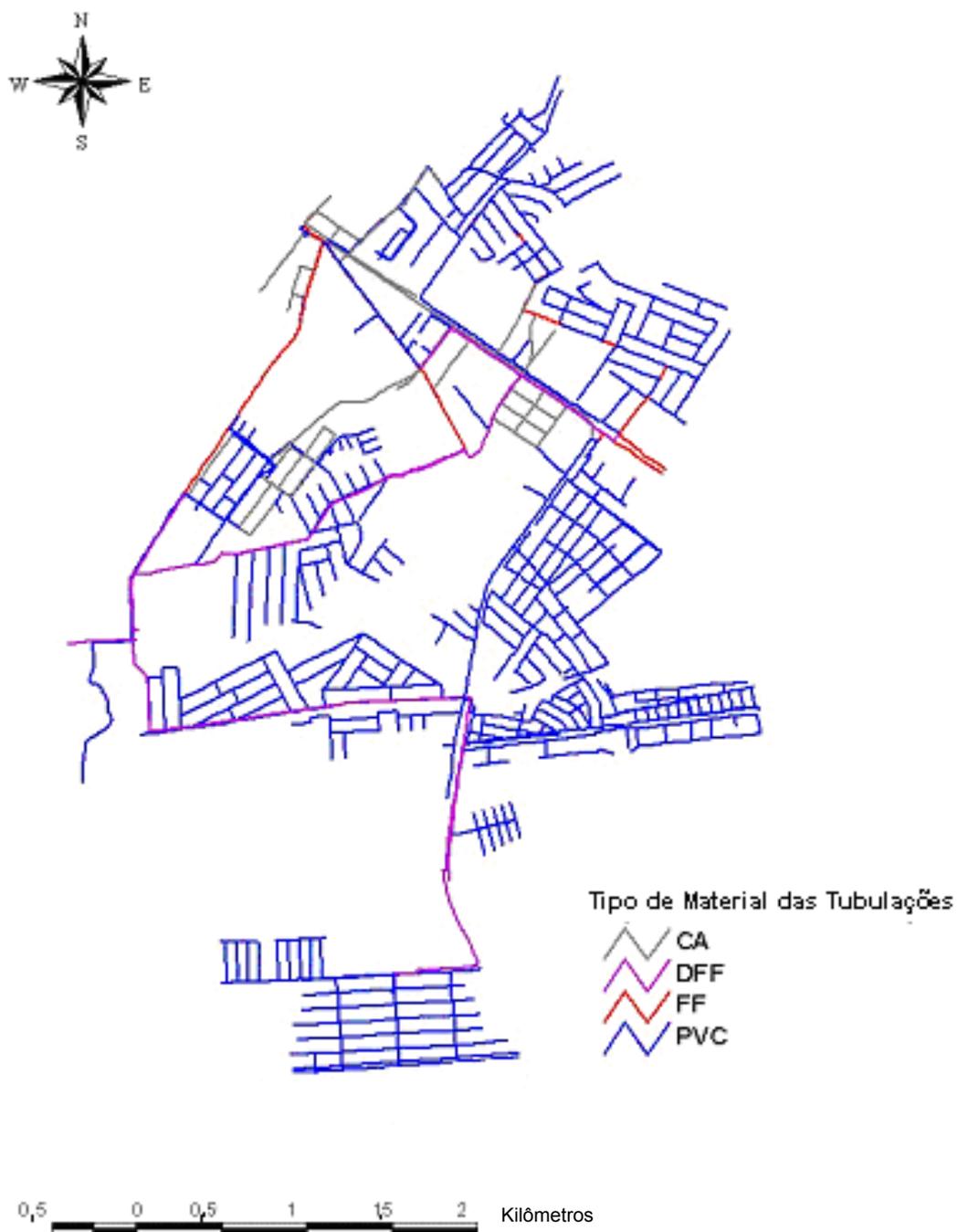


Figura 42 - Distribuição espacial do diâmetro das tubulações



**Figura 43 - Distribuição espacial do tipo de material das tubulações**

Através dos resultados, a rede se divide com relação ao material da seguinte forma:

PVC = 82,378 do total; Cimento Amianto (Cimento Amianto) = 8,81% do total, DFF = 5,492% do total e FF = 3,332% do total.

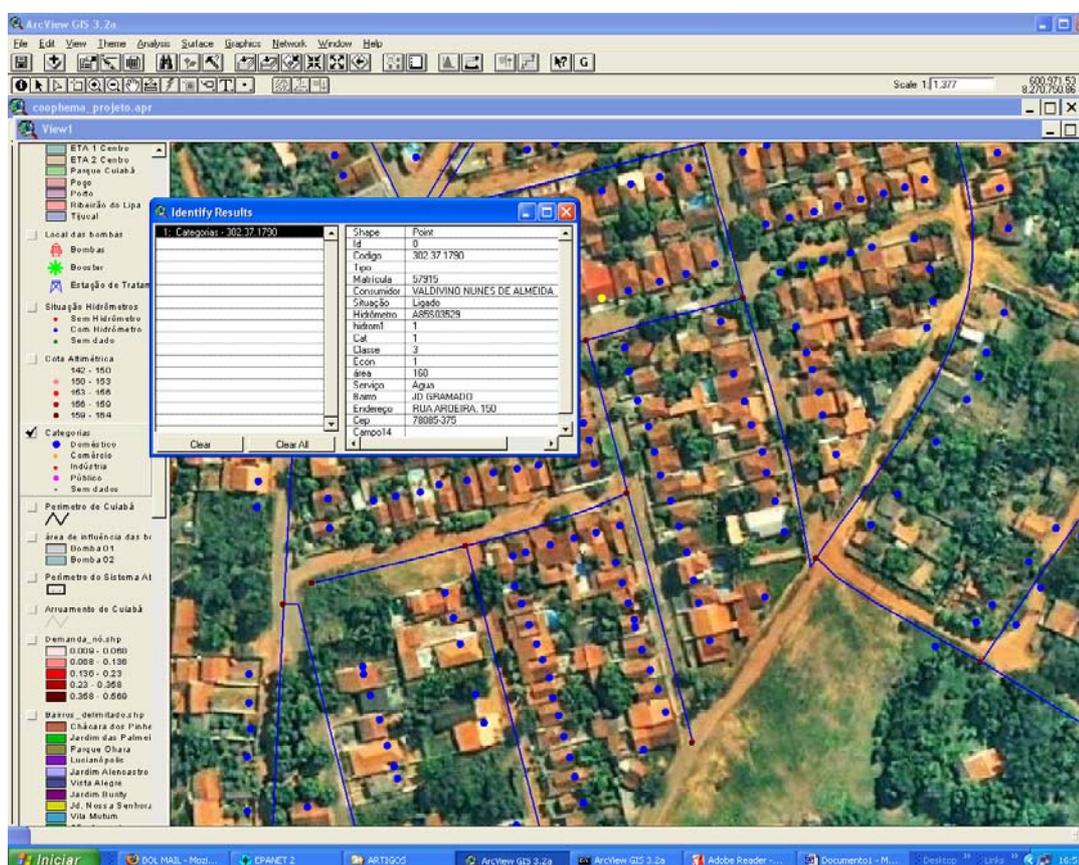


**Figura 44 - Visualização espacial do arruamento que compõe o sistema de Abastecimento CoopHEMA**

A figura 44 mostra os arruamentos que compõem o Sistema de Abastecimento CoopHEMA.

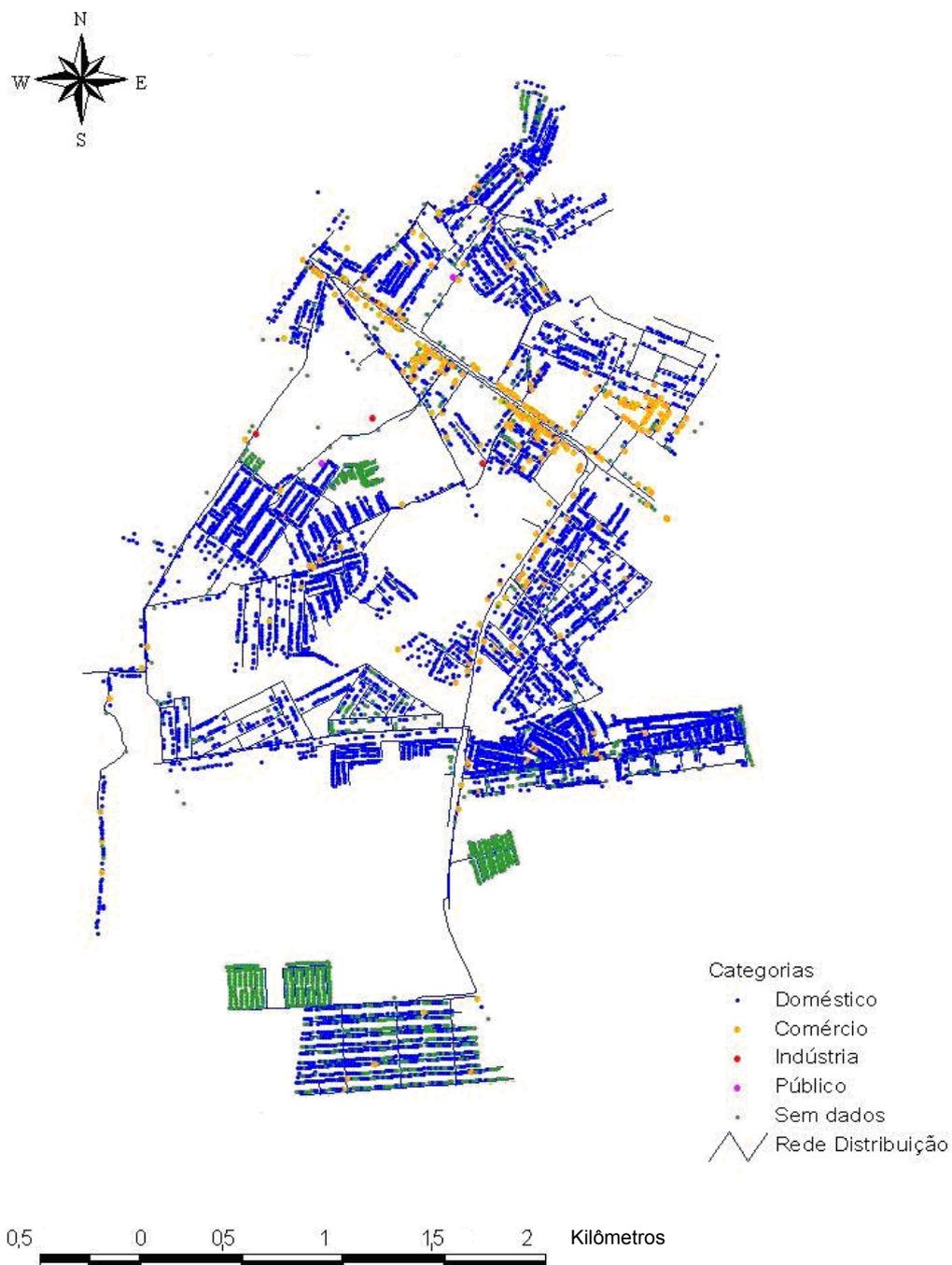
### 5.1.3 Distribuição Espacial dos Dados Disponibilizados pelas Planilhas Comerciais da SANECAP

SIGs são sistemas utilizados para preservar grandes volumes de dados espaciais. Desta forma os SIGs podem ser considerados como uma importante ferramenta para obtenção dos dados necessários para a prática do Gerenciamento. Pode-se observar na figura 45 vários temas sobrepostos (rede de distribuição de água, imagem de satélite mostrando os domicílios e os temas representando as ligações) sendo que uma ligação/domicílio está selecionada, cujos atributos podem ser visualizados na caixa de texto.



**Figura 45 - Características da ligação selecionada no bairro Gramado**

Nas figuras (46, 47, 48, 49) a seguir serão visualizados dados referentes ao banco de dados comercial da SANECAP (Companhia de Saneamento de Cuiabá) do mês de agosto de 2005.



**Figura 46 - Distribuição espacial das categorias de consumo**

A maior predominância é a doméstica com 95,37%, Comércio com 4,55%, Público com 0,03% e Industrial com 0,04% (Figura 46). Podendo ser considerado, o Sistema Coophema uma região homogeneamente doméstica em termos de categoria de consumo.

O tipo de serviço prestado (Figura 47) pela unidade gestora se divide em 82,38 % das ligações somente é atendida com água e 17,58% é atendida com água e esgoto e 0,04% atendida somente com esgoto. As ligações sem dados foram consideradas atendidas somente com água.

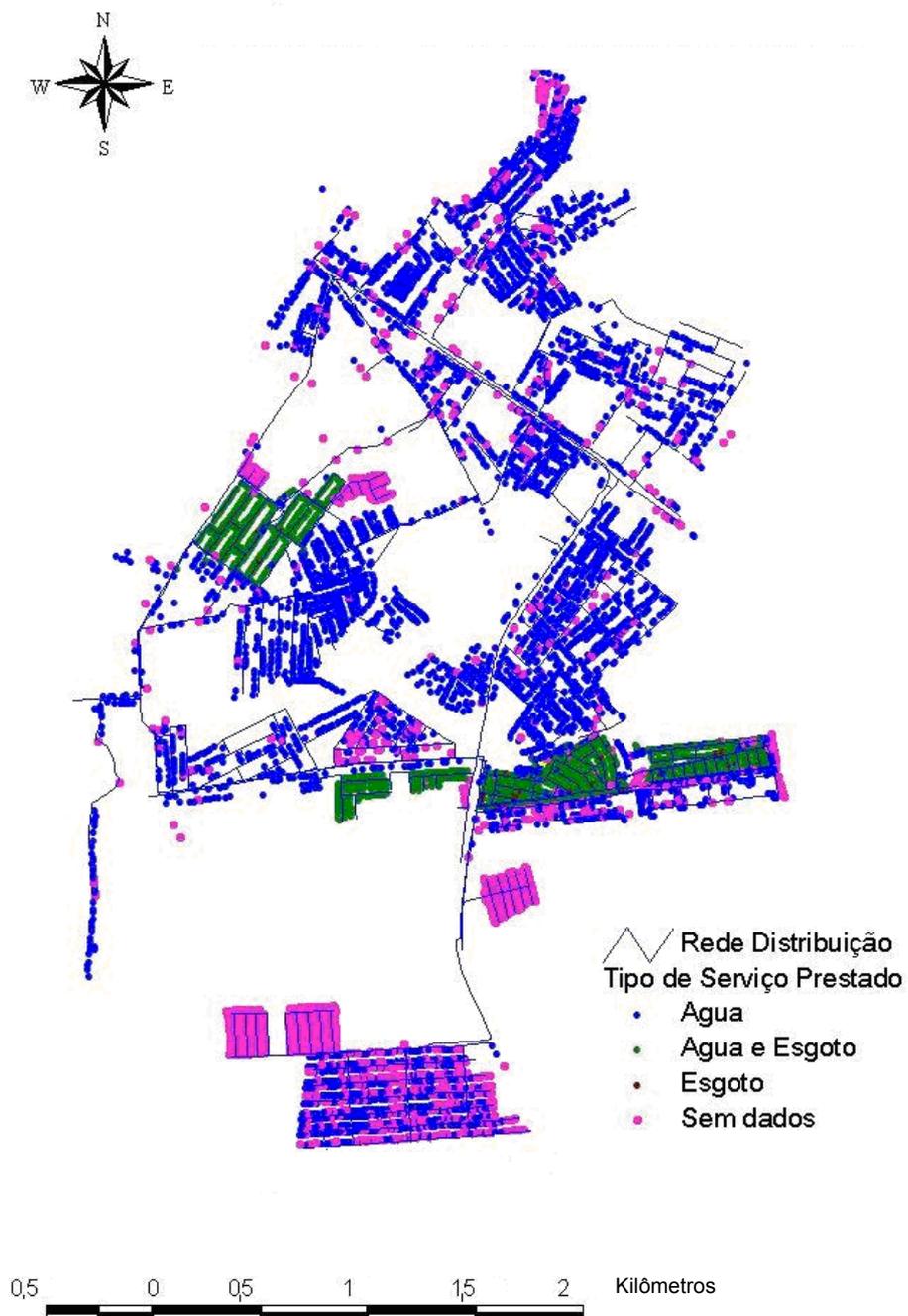
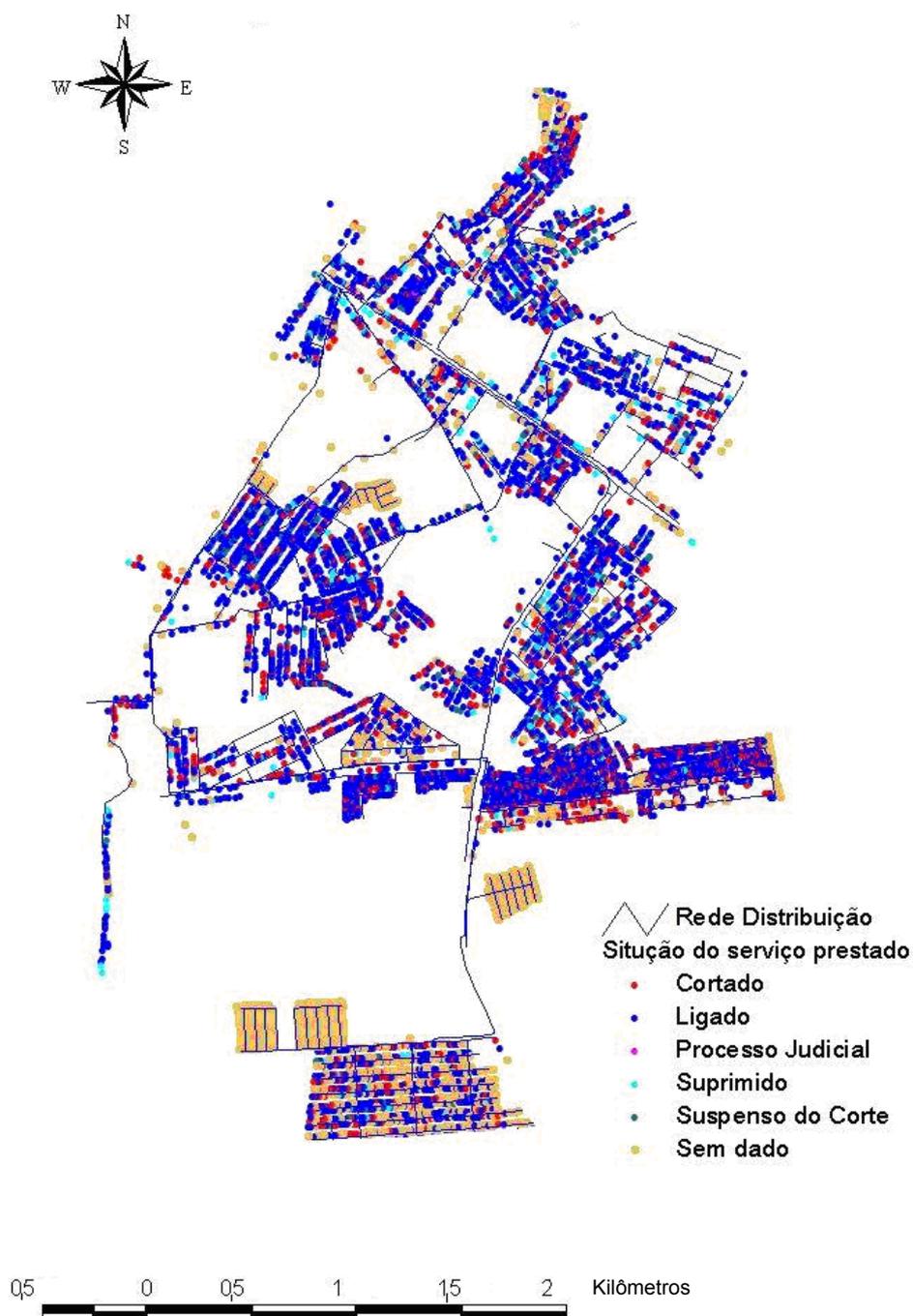


Figura 47 - Distribuição espacial do tipo de serviço prestado



**Figura 48 - Distribuição espacial da situação do serviço prestado**

A situação do serviço prestado (Figura 48) pela unidade gestora se divide em 75,60% na situação ligado, 16,19% estão cortados, 0,10% estão em processo Judicial, 3,48% estão suprimidos e 4,63% estão suspensos de corte. Considerou-se ligações sem dados na situação ligada.



**Figura 49 - Distribuição espacial da situação dos hidrômetros**

Verificou-se que 39% do total está sem hidrômetro, conseqüentemente se torna mais difícil o conhecimento do consumo de água pelas ligações.

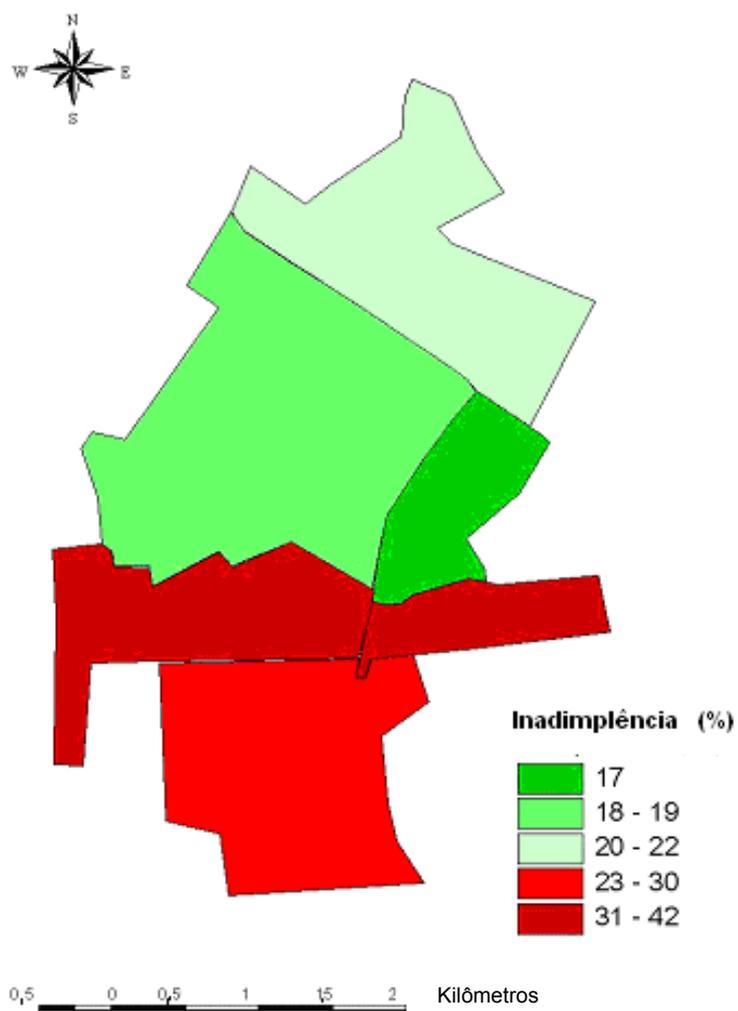


**Figura 50 - Ligação Sem Hidrômetro no Bairro CoopHEMA**

40% das ligações estão com hidrômetro e 21% estão sem dados na planilha da SANECAP.



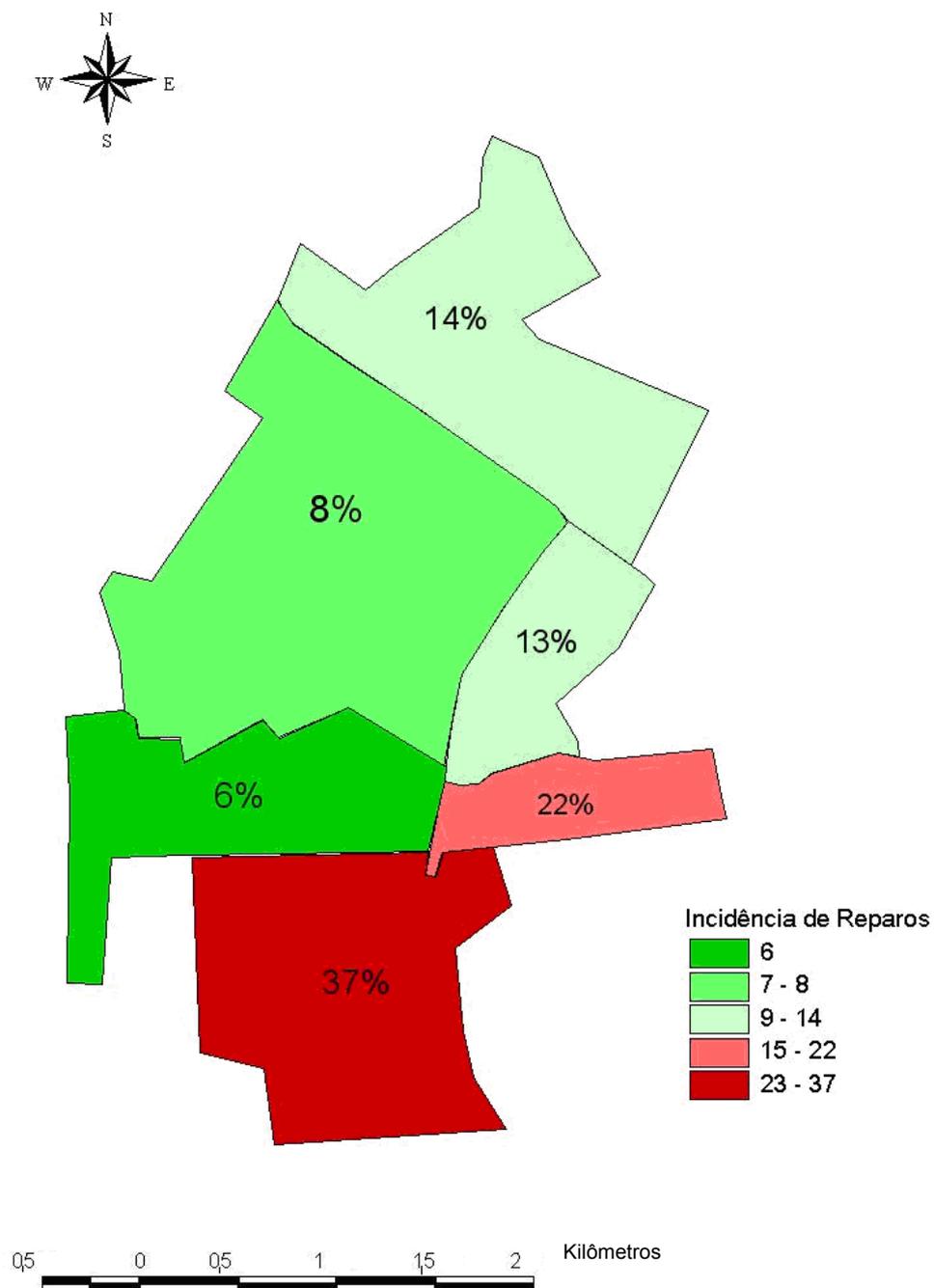
**Figura 51 - Ligação Com Hidrômetro no Bairro CoopHEMA**



**Figura 52 - Inadimplência no Sistema CoopHEMA**

Para a distribuição espacial da inadimplência foram considerados dados do mês de Agosto / 2005 que até o mês de dezembro/2005 ainda estavam inadimplentes.

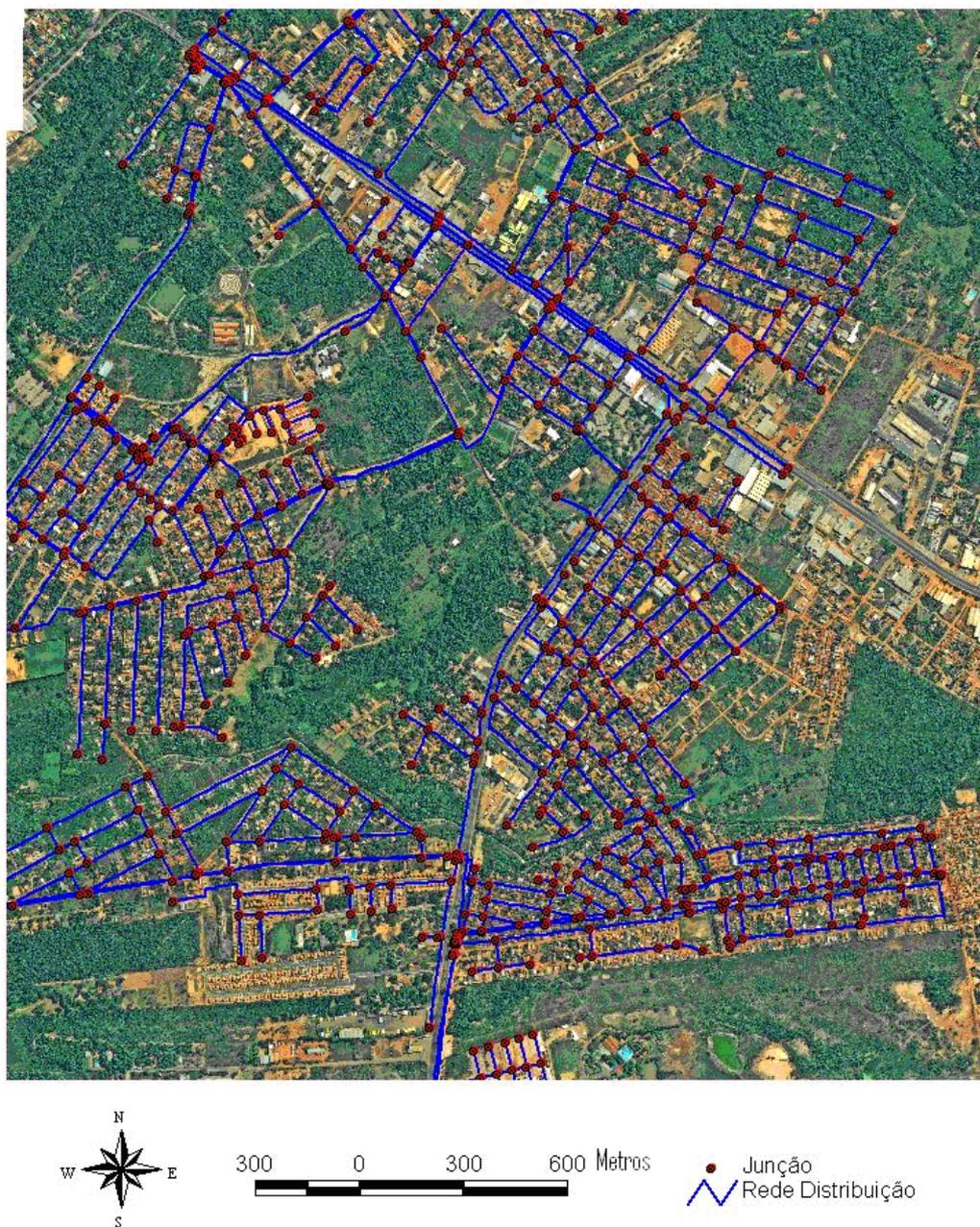
A parte sul do Sistema de Abastecimento é a que mostra maior inadimplência, podendo ser em consequência da existência de intermitência que deixa o sistema instável e com maiores problemas na disponibilidade de água (Figura 52). Ocorrendo assim, maior insatisfação por parte do consumidor.



**Figura 53 - Incidência de Reparos**

Os dados de incidência de reparos considerados foram num período de seis meses de Junho a Novembro de 2005.

A parte sul do Sistema de Abastecimento CoopHEMA tem maior percentagem de incidência de reparos (figura 53). Conseqüentemente acarreta em insatisfação pelo usuário, elevando assim a inadimplência.



**Figura 54 - Imagem de Satélite QuickBird de parte do Sistema de Abastecimento CoopHEMA**



**Figura 55 - Imagem de Satélite QuickBird de parte do sistema de Abastecimento CoopHEMA com maior aproximação**

Por meio do software ArcView (ESRI) visualiza-se a imagem de satélite QuickBird que foi de grande utilidade para visualização espacial de informação relacionada ao sistema de abastecimento. Sendo possível visualizar áreas propícias à expansão do bairro e conseqüentemente do sistema de abastecimento e também

identificação de residências que não estão sendo consideradas e atualização de tubulações que não existam mais (Figuras 54 e 55).

## 5.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Para a realização da simulação matemática do sistema de abastecimento torna-se muito importante o conhecimento do funcionamento do sistema. As manobras realizadas têm que ser bem conhecidas para fornecimento de dados ao software simulador.

Um aspecto comum em quase todas as concessionárias dos serviços de água no Brasil é a falta de confiabilidade dos dados operacionais das unidades componentes dos sistemas. Informações relacionadas às demandas totais nas áreas de influência, dados relativos ao funcionamento de bombas nas estações elevatórias, dentre outros, demonstraram incoerência, quando avaliadas.

Em função do sistema de abastecimento em estudo ser novo, e estar em fase de conhecimento e não ter controles operacionais definidos em projeto, ocorreram várias mudanças de manobras, fazendo com que a execução do estudo se tornou mais vulnerável á erros.

Outro fator prejudicial para o estudo foi a falta de mão de obra e equipamentos necessários para obtenção de dados de campo.

Como muitas vezes os sistemas não são operados conforme as condições previstas nas fases de planejamento e projeto (devido a expansões e adaptações não planejadas do sistema existente, ou, ainda, à inexistência de procedimentos operacionais documentados), ou manobras inadequadas.

Quando é realizada manobra no sistema, a rede fica temporariamente instável até seu completo funcionamento normal, fazendo com que sua simulação seja mais complexa, necessitando assim de calibração mais criteriosa, como por exemplo, a utilização de algoritmos genéticos.

Em função desses fatores a execução da modelagem da parte sul do sistema atendida pela bomba 1198 ficou prejudicada, pois as regras de manobras das válvulas não eram fixas e os dados necessários de curvas das bombas não era confiáveis. Em vista disso foi decidido executar a modelagem somente na parte norte do sistema.

### 5.2.1 Determinação da demanda por nó

O número de nós efetivamente utilizados no lançamento da rede foi de 388 nós dos 520 correspondentes à parte norte do Sistema. A determinação do consumo foi através de estimativas do método de área de influência do nó descrito no capítulo 5.

### 5.2.2 Determinação do Histograma de Consumo para o Sistema de Abastecimento CoopHEMA

O histograma de consumo tem por finalidade representar as variações horárias ao longo de um dia. Na figura 56 é representado o padrão temporal de consumo obtido através da média da medição de vazão na saída do reservatório durante 32 dias (Setembro e Outubro / 2005).

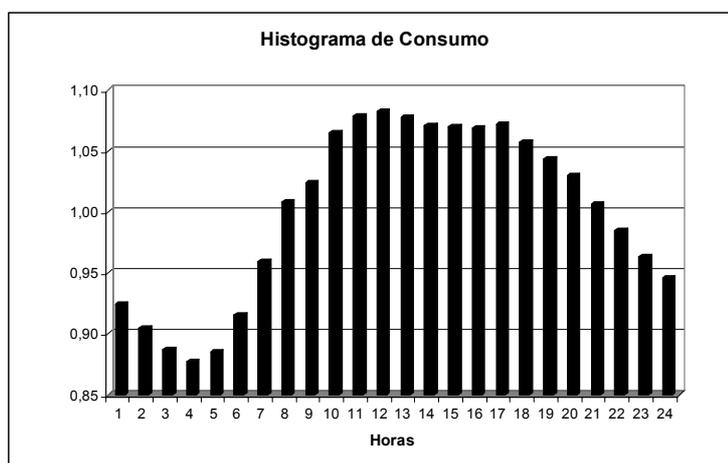


Figura 56 - Histograma de Consumo utilizado no Padrão Temporal

### 5.2.3 Modelação da parte norte do sistema atendido pela bomba 1195

Com os dados inseridos no programa foi realizada a simulação do Sistema de Abastecimento CoopHEMA.

A área do sistema de abastecimento considerada para modelagem foi a área de influência da bomba 1195 (Bomba 01), (Figura 57).



Figura 57 - Área de Influência das bombas

Para comparação dos dados observados e simulados foi utilizada a média dos valores de pressão de cada ponto. As figuras 58, 59, 60, 61, 62 e 63 representam o comportamento e a duração de monitoramento de cada ponto.

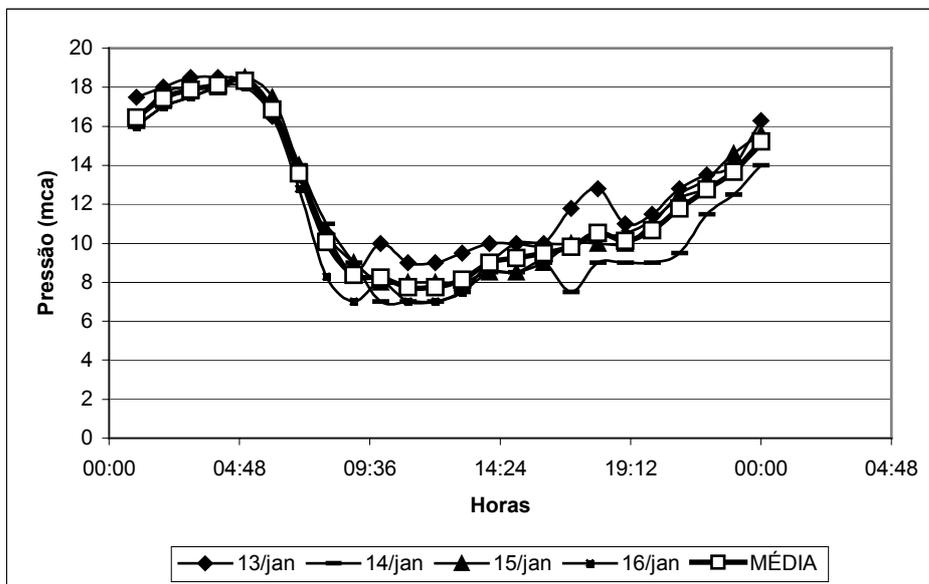


Figura 58 - Pressão Observada para o nó 588

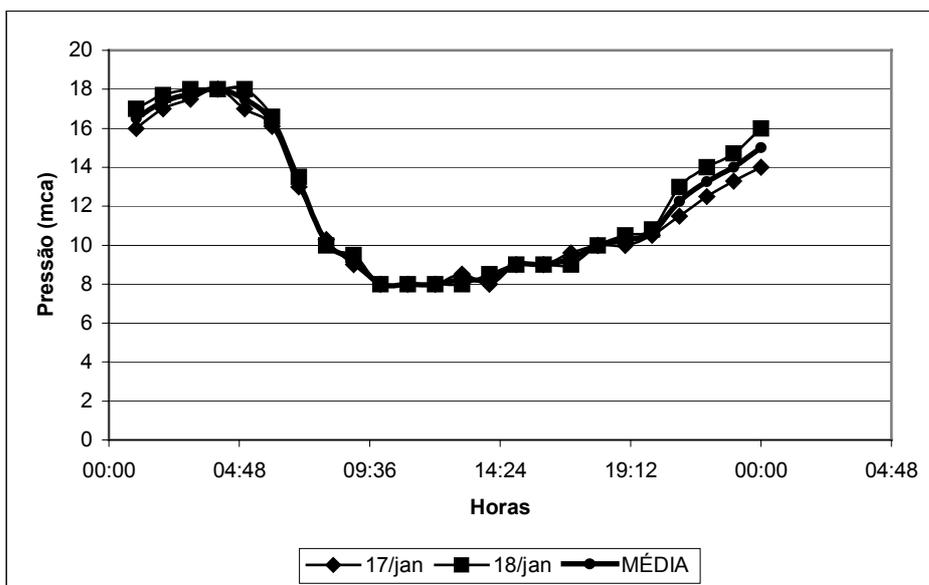


Figura 59 - Pressão Observada para o nó 524

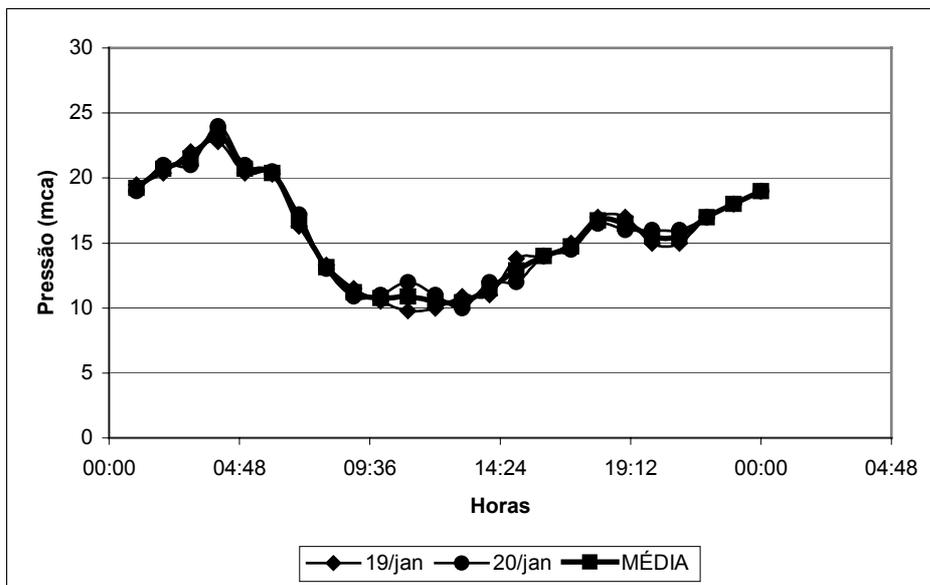


Figura 60 - Pressão Observada para o nó 447

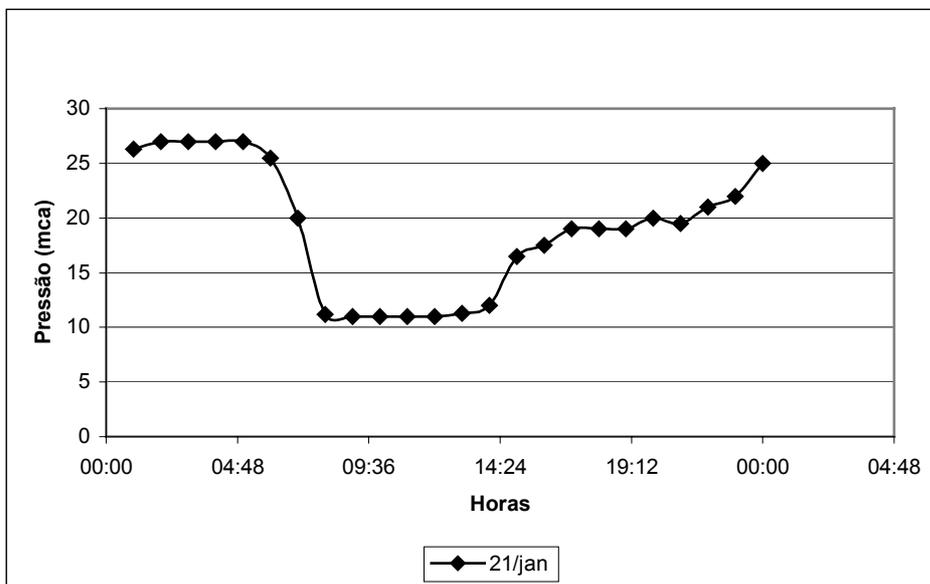


Figura 61 - Pressão Observada para o nó 245

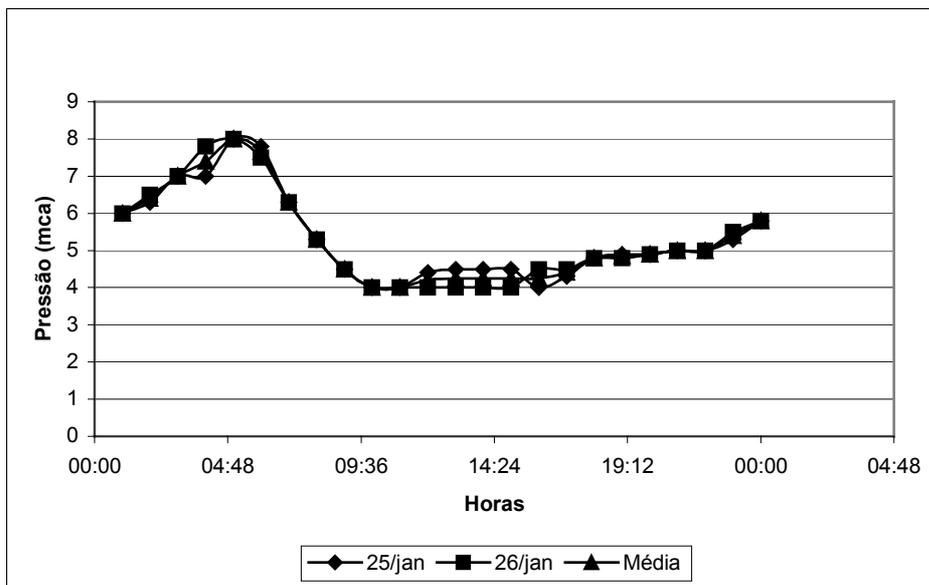


Figura 62 - Pressão Observada para o nó 136

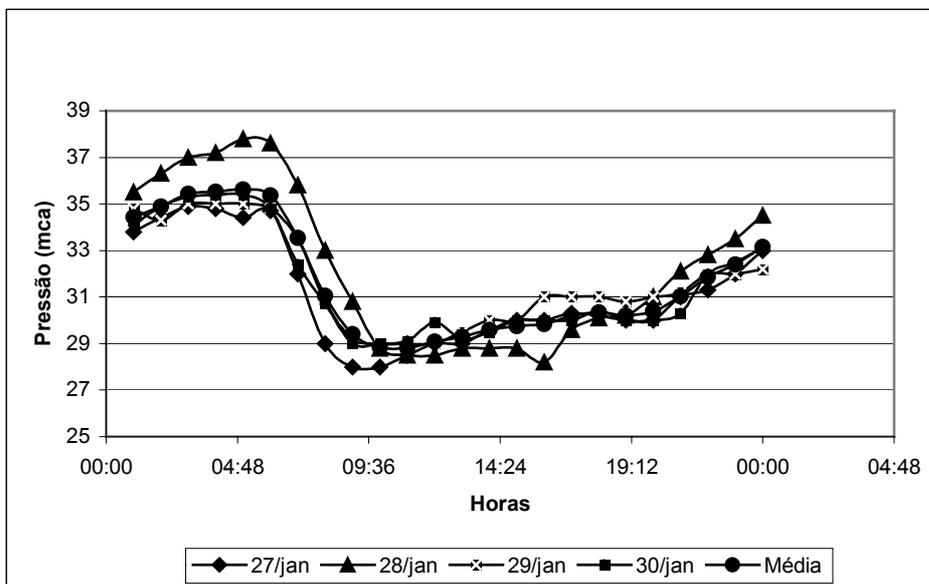
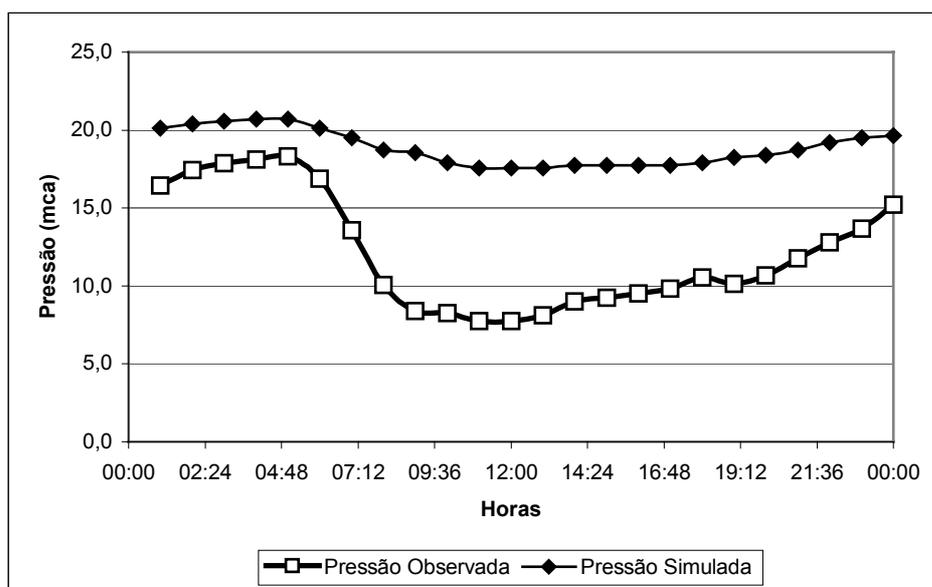
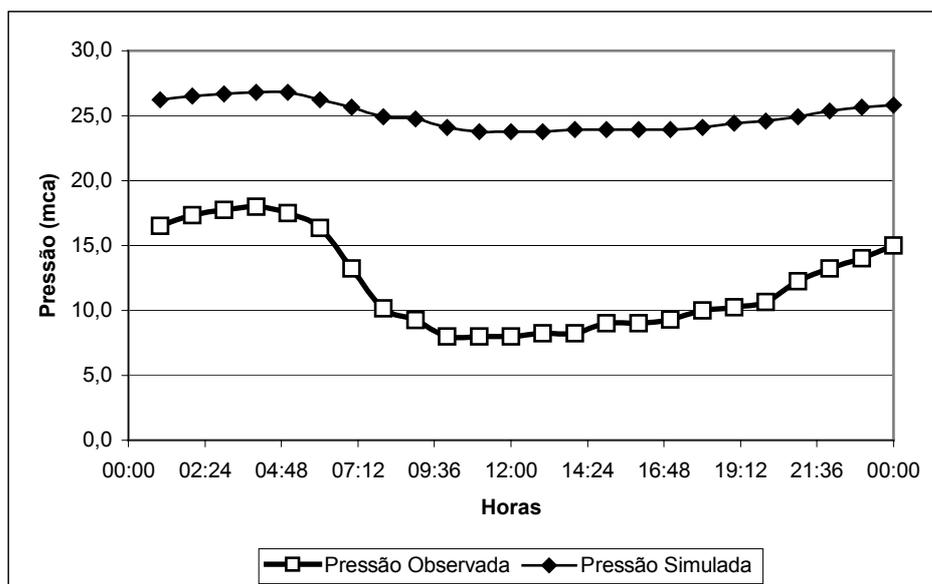


Figura 63 - Pressão Observada para o nó v989

As figuras 64, 65, 66, 67, 68 e 69 mostram a comparação dos dados observados e simulados, podendo verificar a necessidade de calibração para posterior análise do sistema. O modelo EPANET não dispõe de módulo de calibração, necessitando assim de calibração fora do programa EPANET.



**Figura 64 - Pressão Simulada e Observada para o nó 588**



**Figura 65 - Pressão Simulada e Observada para o nó 524**

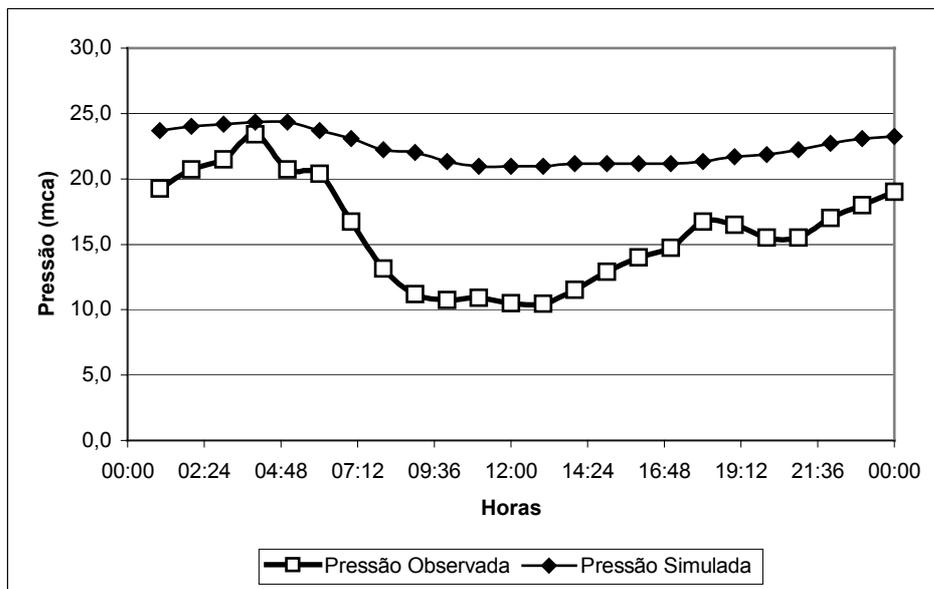


Figura 66 - Pressão Simulada e Observada para o nó 447

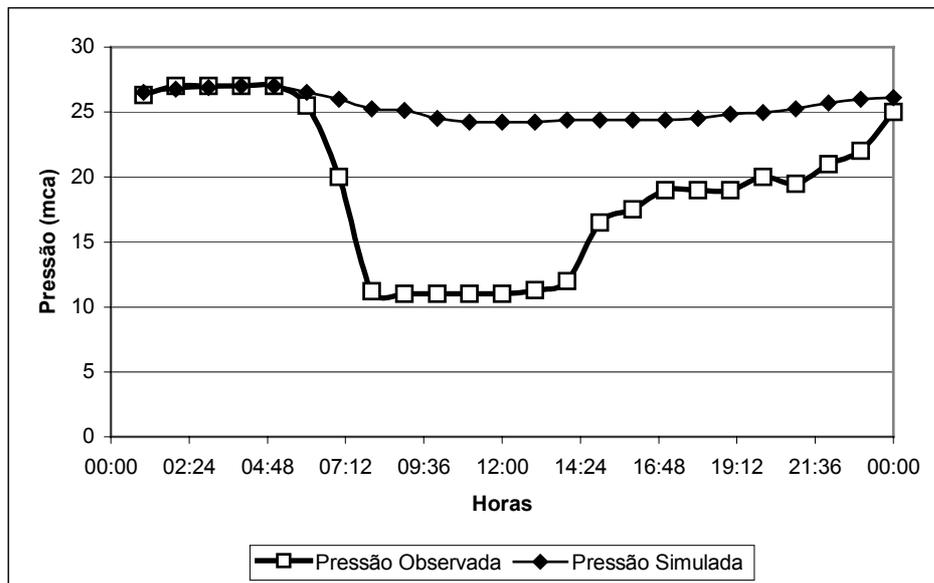


Figura 67 - Pressão Simulada e Observada para o nó 245

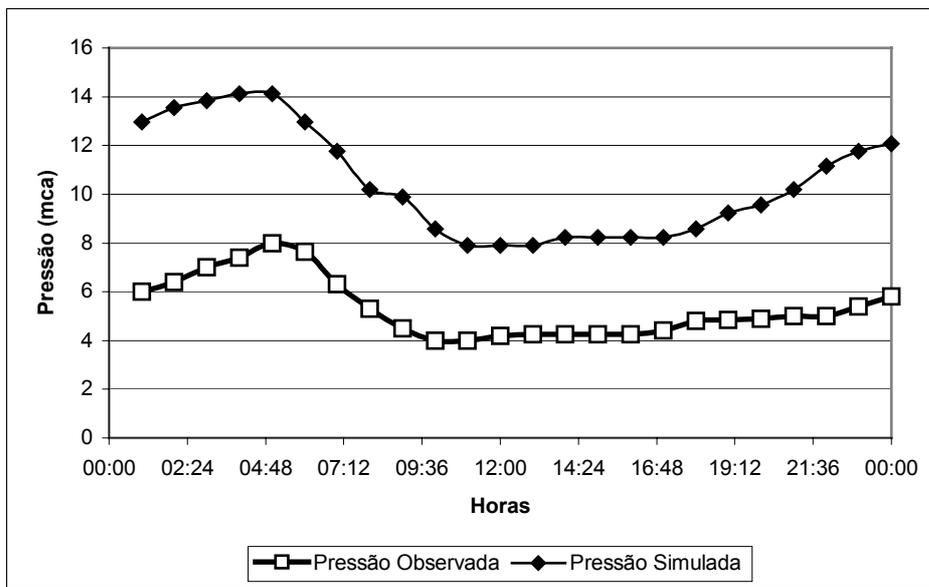


Figura 68 - Pressão Simulada e Observada para o nó 136

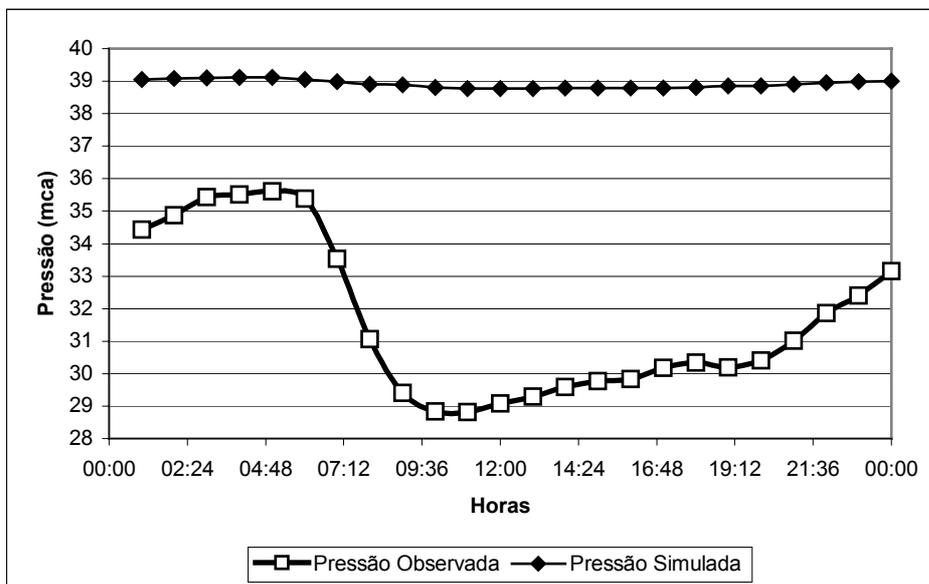
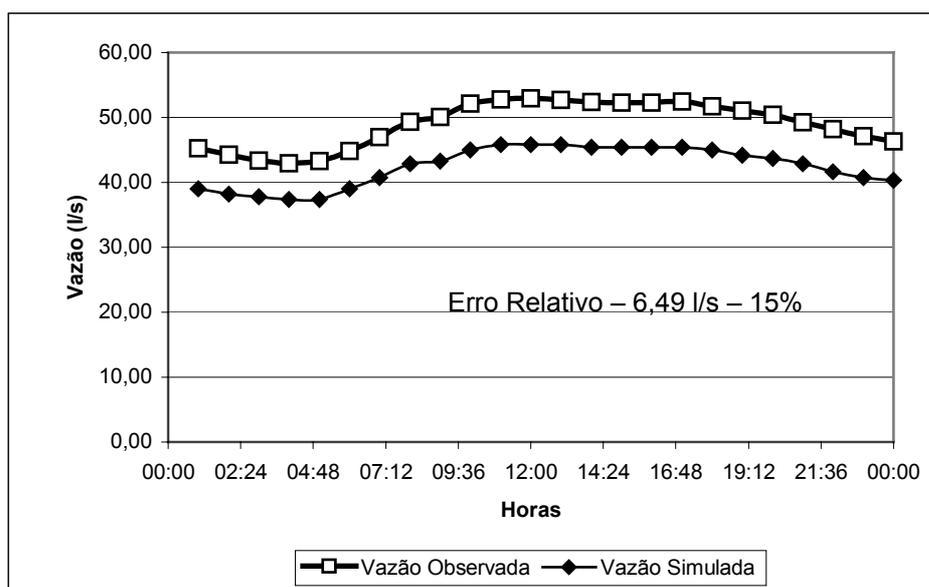


Figura 69 - Pressão Simulada e Observada para o nó v989

Nas figuras 61 e 67 verifica-se um comportamento diferenciado das outras medições; que pode ser explicado pela realização de manobra, o que ocasionou a queda de pressão. Outro fator que tenha provocado este comportamento pode ser em função de ter sido realizado neste ponto J245, somente 24 horas de medição, sendo que os outros pontos tiveram medições iguais ou maiores de 48 horas.

Observa-se na figura 70 que a vazão observada está maior que a simulada, podendo concluir que a estimativa de consumo nodal ficou subestimada ou que o sistema tem uma favorável percentagem de perdas. Fato este que se torna um complicador para calibração do sistema, pois é de suma importância o conhecimento da localização desta suposta perda de água no sistema. Pode-se observar que o erro médio é de 6,49 l/s, que está próximo do erro médio dos valores de pressão. Através do método WATER RESEARCH CENTRE, 1989 é necessária a realização da calibração.



**Figura 70 – Vazão Simulada e Observada na Saída do Reservatório**

A figura 71 mostra a correlação entre os dados simulados e observados de

pressão.

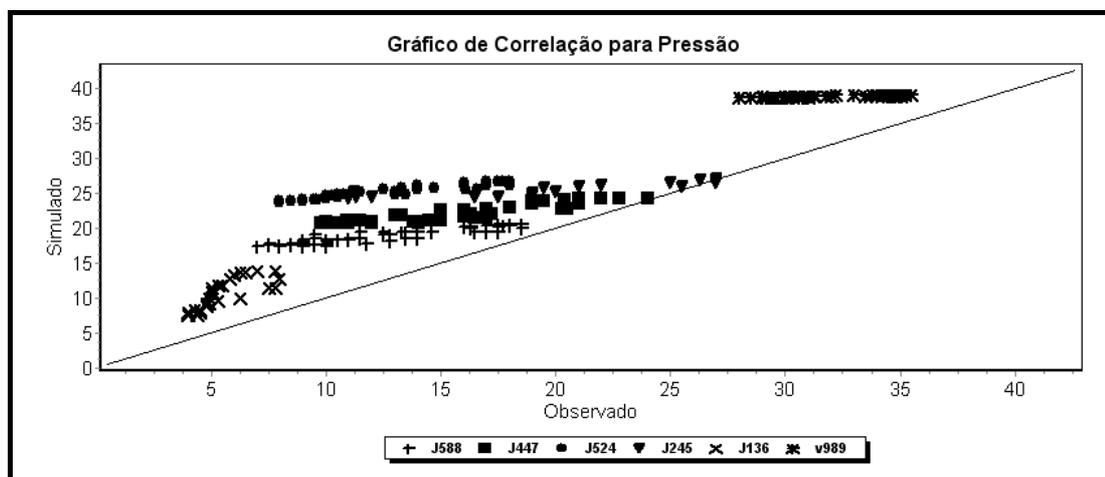
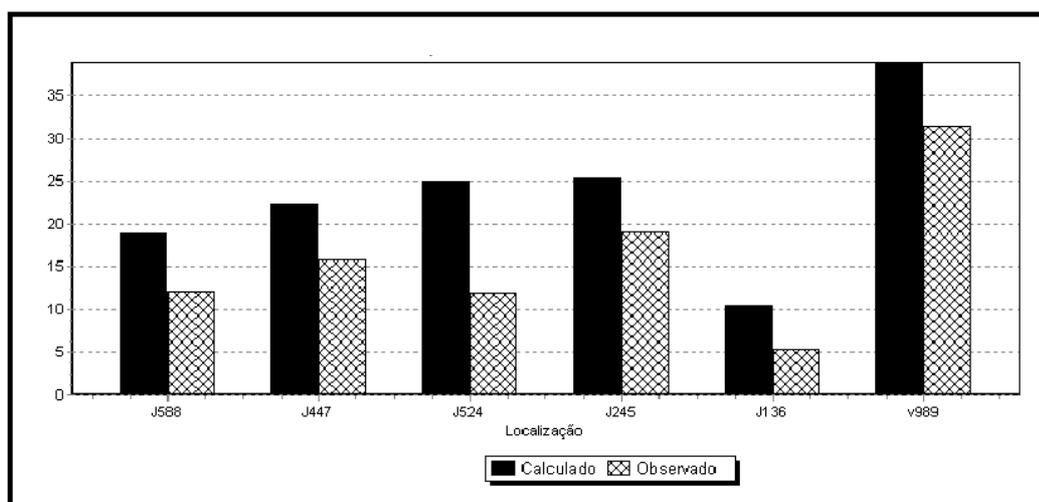


Figura 71 – Correlação entre os nós para os valores de pressão

Observa-se em relação aos pontos plotados na [figura 71](#), que todos pontos apresentam uma distribuição afastada da linha de tendência. O ponto J588 tem erro médio 6,657m, o ponto J447 tem erro médio de 6,483m, o ponto J524 tem erro médio de 12,972m, o ponto J245 tem erro médio de 6,398m, o ponto J136 tem erro médio de 5,137m e o ponto v989 tem erro médio de 7,527m.

Através do método WATER RESEARCH CENTRE (1989) será necessária a realização da calibração, para que os dados simulados se aproximem dos dados observados. O erro médio entre todos pontos é de 7.527m.

Na [figura 72](#) verifica-se uma diferença de pressão simulada e observada sistemática, pois os erros têm valores razoavelmente iguais entre si, exceto o ponto J524, que pode ser explicado pelo fato de estar numa região fortemente comercializada, e como os consumos foram estimados, pode ter acontecido da estimativa estar subestimada.



**Figura 72 – Comparação de Valores Médios de Pressão**

#### **5.2.4 Calibração**

Foi realizada a simulação após calibração e constatou-se o seguinte:

- 1) Durante o período noturno, as pressões simuladas foram menores que as pressões observadas, mesmo com parâmetros do modelo de vazamentos iguais a zero, ou seja, perda por vazamento nula, o que, na prática, não é verdade, pois os vazamentos aliviam pressão.
- 2) No período diurno, há a presença de diversos pontos com pressão negativa, o que invalida qualquer calibração em termos do modelo de vazamentos, pois o vazamento é dependente da pressão e, se essa é negativa ou próxima de zero não há vazamento.

Considerando as incertezas envolvidas, tornou-se difícil a calibração do sistema. Possivelmente, neste setor há sub-setores muito críticos em termos das perdas físicas.

Para realização da calibração seria necessário um estudo de perdas físicas em todo sistema para que a incerteza não desfavoreça a calibração do sistema.

SOARES, 2003 comenta que quando a hidrometração abrange apenas 50% ou menos da área do setor, isso se torna um limitador muito grande para as simulações, pois a distribuição espacial das demandas é prejudicada. Pois se um sistema com 100% de micromedição já apresenta erros nas simulações, imagine então com 40%.

Segundo ALEGRE (1999), calibrar um modelo é introduzir-lhe as correções necessárias e suficientes, para que ele reproduza com grande rigor a situação real. A calibração é uma tarefa tão necessária quanto difícil. Das tarefas inerentes à preparação de um modelo, a calibração é a que requer mais tempo, mais meios técnicos e humanos, mais persistência e conhecimento.

É necessário ter em atenção que a simples concordância entre os resultados do modelo e os resultados obtidos em medição no sistema, não é suficiente para se poder afirmar que o modelo está calibrado.

Apesar do sistema ainda não estar calibrado observou-se que mesmo os valores simulados estarem superestimado, existe a ocorrência de pressões abaixo do mínimo estipulado pela NBR 12218 (10 m.c.a) como mostra a figura 62.

Verificou-se que as baixas pressões simuladas ocorrem também no mesmo local onde houve monitoramento. Ficando evidente a possibilidade de se obter conhecimento do sistema em estudo.

Em função deste fator será descrito a seguir algumas considerações sobre o sistema em estudo.

### 5.2.5 Considerações sobre o sistema em estudo

Na figura 73 observa-se a localização com pressões abaixo de 10 m.c.a. no sistema em estudo, sendo que o horário de menor pressão verificada são às 10 horas, com pressão mínima de 5,03m.c.a. (Pressões baixas são localizadas visualmente na figura 73 na área marcada por um círculo). Esta característica também foi identificada em monitoramento em campo na mesma área demarcada.

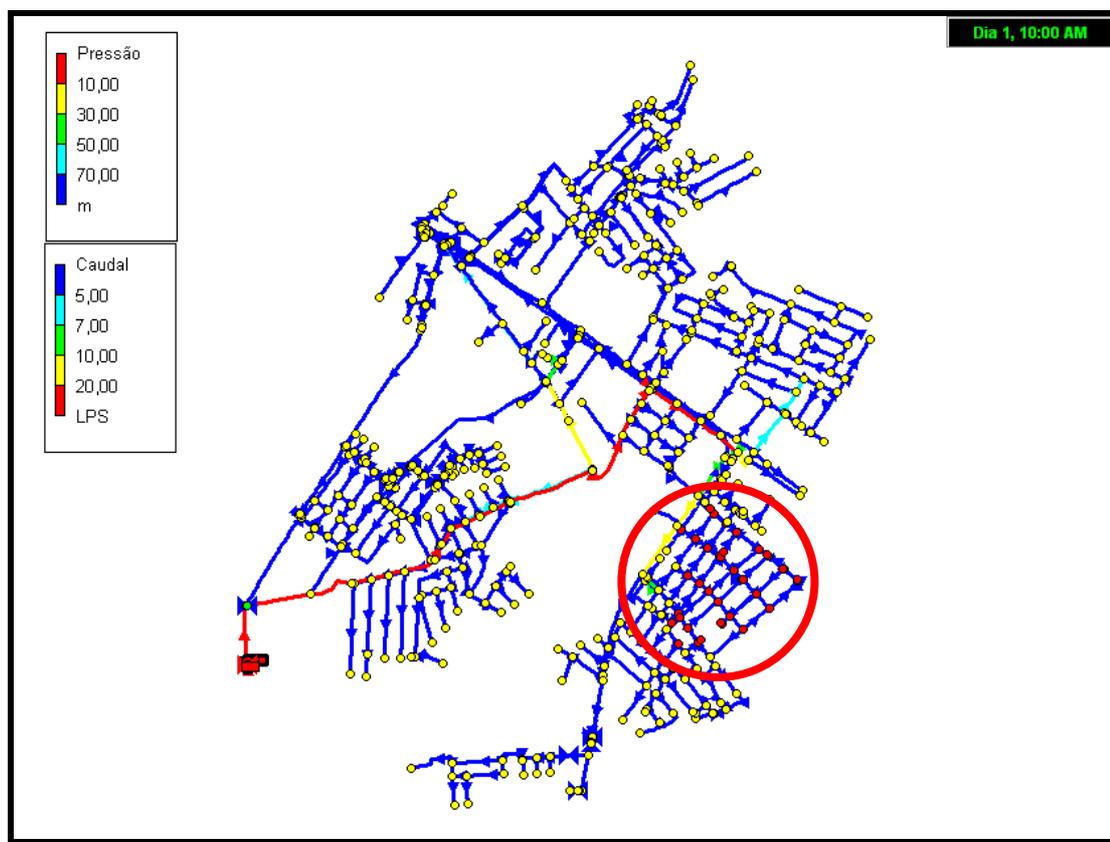


Figura 73 – Localização do Sistema com Baixa Pressão

Fato este que pode ser explicado pela trajetória que a água percorre até chegar ao bairro Nossa Senhora Aparecida (Local este demarcado pelo círculo vermelho na figura 73).

Na figura 74B é destacada a trajetória percorrida até o bairro, observa-se um percurso desfavorável (em forma de U). Outro fator que leva a essas pressões baixas é a característica topográfica do terreno que é elevado, e também por ser um dos últimos bairros a receber água (figura 74A).



Figura 74 – Cotas altimétricas do sistema (A) e trajetória atual da água (B) quando é direcionada ao bairro Nossa S. Aparecida (forma de U)

### 5.2.6 Proposta de Alteração

Com a verificação de baixas pressões no bairro Nossa Senhora Aparecida, que também foram observadas em campo, foi realizada uma simulação com ampliação de uma tubulação para que a água passasse a ter mais que um caminho a percorrer, e o que proporciona isso são as rede em forma de anel, pois antes a rede tinha uma trajetória em forma de U, o que possibilitava a ocorrência de muita perda de carga até chegar ao bairro.

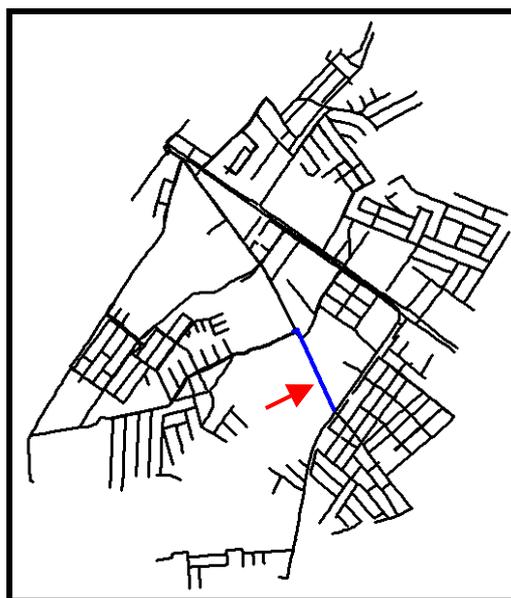
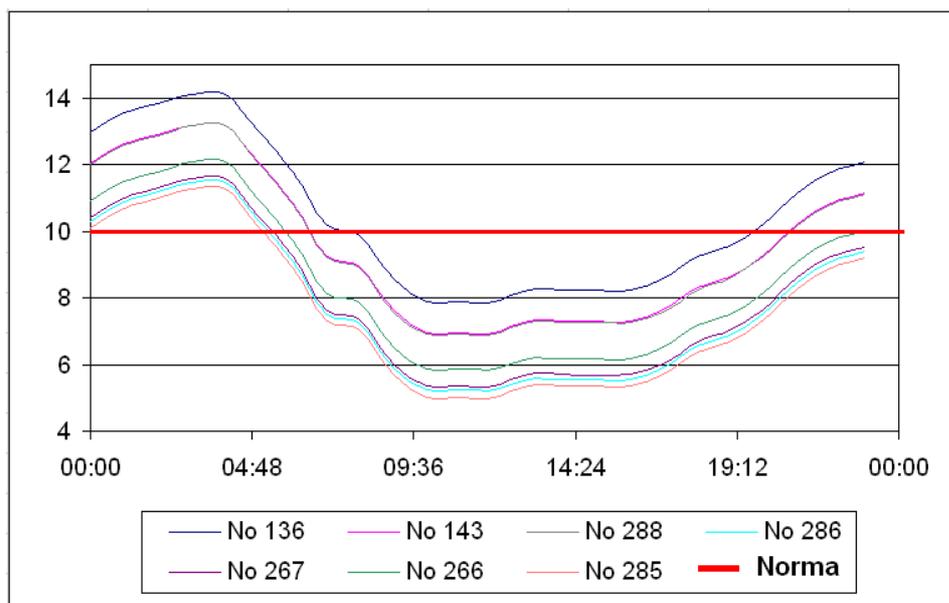
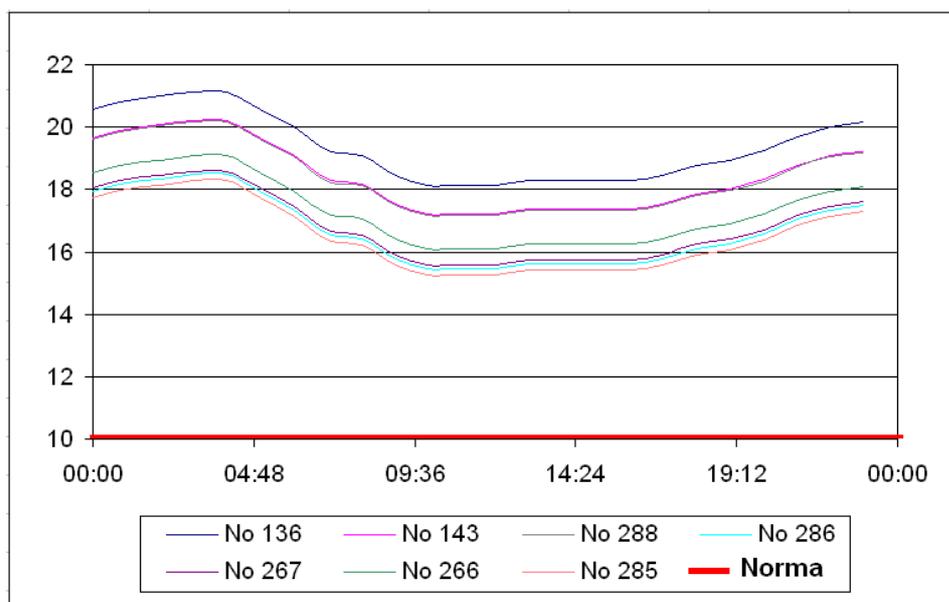


Figura 75 – Localização da Alteração Proposta

Verifica-se na Figura 77 que após a alteração a pressão no bairro melhorou consideravelmente em comparação a figura 76, mostrando um dos benefícios obtido pelo programa EPANET.



**Figura 76 – Pressões atuantes simuladas em alguns nós no bairro Nossa S. Aparecida antes da alteração**



**Figura 77 – Pressões atuantes simuladas em alguns nós no bairro Nossa S. Aparecida depois da alteração**

### **5.2.7 Pressões na Rede de Distribuição**

Em redes de distribuição, normalmente as pressões variam de acordo com o consumo, ou seja, quanto maiores as demandas (consumo), menores as pressões. Dessa forma as pressões mais elevadas ocorrem durante a madrugada, quando o consumo é significativamente reduzido.

Para determinação da pressão média na rede de distribuição de uma forma mais condizente com a realidade (representar as variações em todas as horas do dia), através do EPANET, determinou-se a pressão média na rede de distribuição, que corresponde a média diária, levando em conta todos os nós com consumo. Desta forma obteve-se um valor médio de pressão de 20 m.c.a., e que passou para 23m.c.a após a alteração proposta.

A pressão considerada na Figura 78 (A) é a pressão mínima dinâmica que ocorre às 11:00, em função do consumo elevado. Já as pressões máximas, ilustrada na Figura 78 (B), ocorrem no período de menor consumo, às 4:00 horas.

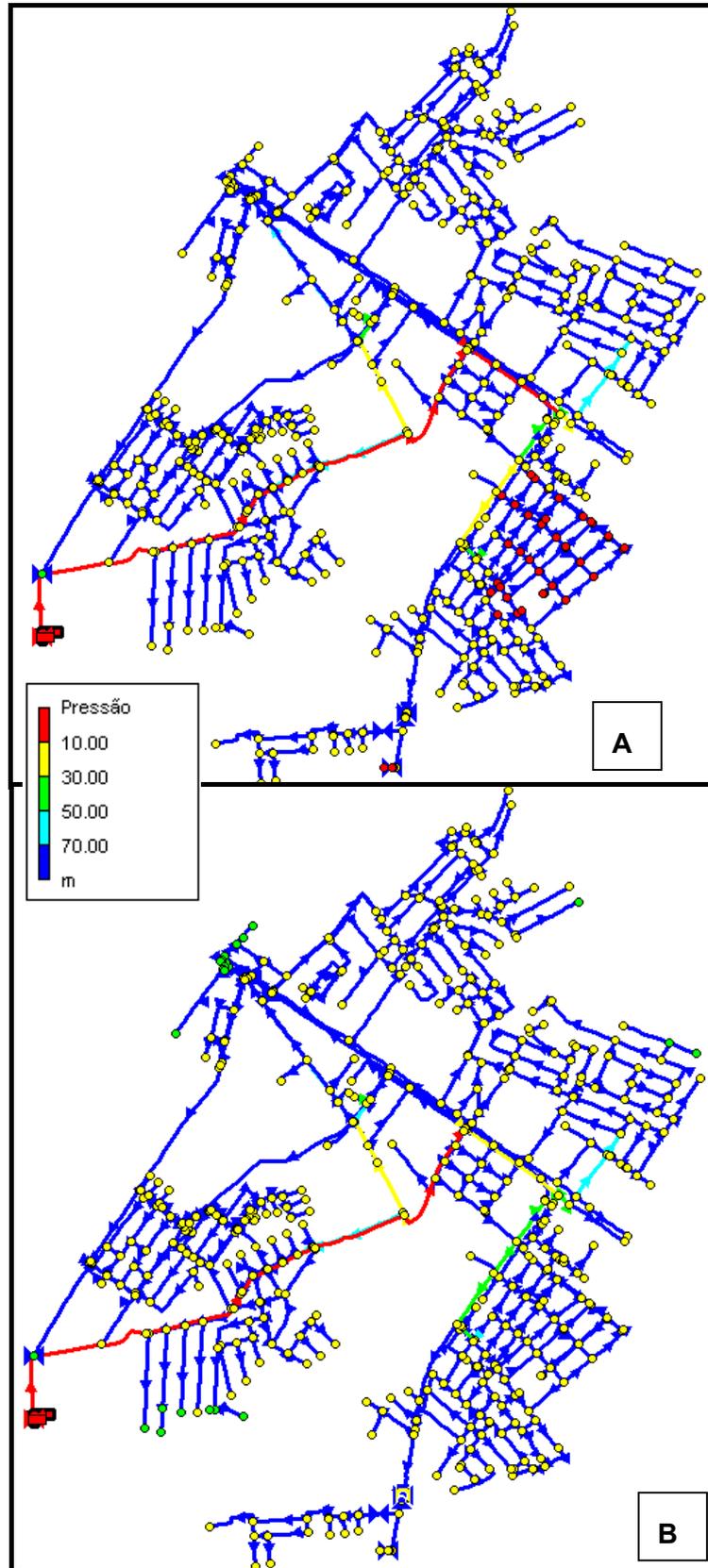


Figura 78 – Pressões Mínimas (A) e Máximas (B) na rede de distribuição

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Este estudo permitiu a identificação de algumas conclusões e considerações que serão abaixo apresentadas.

A utilização do modelo EPANET e o SIG foi repassada a companhia de saneamento que compreendeu em uma iniciativa na companhia de saneamento e permitiu a criação de um projeto embrião que vem sendo desenvolvido por um pequeno grupo de técnicos da empresa.

O modelo EPANET mostrou-se aplicável ao sistema de abastecimento Coophema, mas seus resultados poderiam ser melhores caso os parâmetros de entrada fossem mais precisos, isto é, mais próximos da realidade.

A melhor maneira de se obter a pressão média de um determinado sistema, em um período pré-determinado, levando em consideração todos os pontos da rede de distribuição, é através da utilização de simuladores hidráulicos (EPANET). Isso é possível desde que o sistema simulado esteja devidamente calibrado.

A utilização do simulador também se mostrou importante na identificação da localização da alteração proposta, sendo que a mesma é de fundamental importância na redução de perdas físicas na rede de distribuição.

A alteração proposta melhorou as pressões na rede de distribuição, criando, nas regiões críticas, caminhos alternativos para que a água circule.

A realização do estudo de caso permitiu uma crítica análise da qualidade dos dados operacionais, que conclui na necessidade de investimento para a melhoria dos dados antes de um estudo de controle de perdas no sistema e um estudo mais completo de modelagem do sistema completo onde existam intermitência operacionais.

Trata-se de um estudo, cujos resultados são importantes a nível técnico, pelas informações que pode disponibilizar sobre o funcionamento real dos sistemas.

Recomenda-se a divisão do sistema de distribuição em setores, que deve abranger uma área de influência bem delimitada fisicamente, denominada de setor de Abastecimento, com o objetivo do monitoramento de vazão, para facilitar a identificação do percentual de perdas em cada Setor de Abastecimento, com a instalação de macromedidores nas saídas dos centros de reservação e nas derivações para alimentação de cada Setor.

Pois a realidade do Sistema de Abastecimento em estudo representa como a maioria dos sistemas uma configuração complexa e de difícil compreensão e modelação. As várias unidades como reservatórios, estações de bombeamento, válvulas, redes de distribuição primárias e secundárias, são interligados, porém, não de forma padronizada, o que dificulta a simulação hidráulica para avaliação da operação do sistema ou mesmo para projetos de futuras expansões.

Através do SIG foi possível preservar grandes volumes de dados espaciais derivados de uma variedade de fontes e ter uma recuperação eficiente através da manipulação, análise e demonstração destes dados de acordo com as especificações definidas pelo pesquisador, conforme sua área de interesse. Desta forma pode-se considerar os SIGs como uma importante ferramenta para obtenção dos dados necessários para a prática do Planejamento.

No entanto, não se pode esquecer que o desenvolvimento de um SIG em áreas específicas exige metodologias próprias, que são requisitos importantes para o sucesso do sistema.

Recomenda-se que antes da utilização do SIG, é importante criar, caso não exista, um código único para cada consumidor, para não ter problemas com condificações duplicadas no banco de dados.

A utilização do Sistema de Informação Geográfica propiciou a visualização espacial de todos os dados disponíveis no setor Comercial, demonstrando as características do sistema em estudo e comprovando como um verificador de inconsistência do banco de dados.

Diversos profissionais ligados à tecnologia de geoprocessamento são unânimes em dizer que “um mapa vale mais que mil palavras”, pois a facilidade de interpretação ofertada pela informação visual é muito mais abrangente do que se essa informação estivesse disponibilizada apenas em forma tabular.

Através dos dados de inadimplência e reparos na rede, foi possível verificar através dos dados espaciais, que a existência de intermitência no sistema aumenta a quantidade de consumidores inadimplentes e eleva a quantidade de pedidos para reparar a rede.

A imagem de satélite atual aliada às características do sistema possibilitou a verificação em comparação com mapas cadastrais, da existência de arruamento novos verificados na imagem que não existiam nos mapas, sendo possível assim atualização dos mapas há muito tempo desatualizados.

Considera-se que os objetivos desse trabalho foram cumpridos, mesmo não tendo calibrado o modelo por dificuldades de obtenção de dados e equipamentos. De qualquer forma, considerando os objetivos propostos pelo trabalho, acredita-se ter atingido a meta previamente proposta, que era a de simular a rede e utilizar o Sistema de Informação Geográfica com suporte para gerenciamento de Sistemas de Abastecimento de água.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTA ENVIRONMENTAL PROTECTION **Water and wastewater operations manual**. AEP. Level I Manual. Volume B. Unit 6. Canadá, 1996.

ALEGRE, H.; COELHO, S (1998) – **Princípios relevantes para a eficiente gestão técnica de sistemas de abastecimento de água**. 8º Encontro Nacional de Saneamento Básico. Barcelos.

ALEGRE, H – **“Modelação de Redes de Distribuição de Água de Abastecimento – Guia de Utilização”** Informação Técnica e Científica de Hidráulica (ITH 31), LNEC, Lisboa ( Portugal), 1999.

ALEGRE, H. et. al. **Performance indicators for Water Supply Services**. IWA Publishing, 2000.

ALVES, DIÓGENES S. - **Sistemas de Informação Geográfica**. Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, páginas 66-78, São Paulo, 1990.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. - **Sistema de Informações Geográficas- Aplicações na Agricultura**. Embrapa/Planaltina, Brasília -DF, 1993.

AZEVEDO NETTO, J. M. – **Cronologia do Abastecimento de água (até 1970)** – Revista DAE, vol 44, n 137, pp 106 – 111, São Paulo, junho, 1984.

AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDEZ Y FERNADEZ, M.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. – **Manual de hidráulica** - 8º edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BAPTISTA, J.M. (2002) – **Uso sustentável da água: situação portuguesa e perspectiva de futuro. A melhoria da eficiência do uso da água como contributo para a sustentabilidade dos recursos naturais.** 10º Encontro ENaSB/SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga.

BERENHAUSER, C.J.B.; PULICI, C. **Previsão de consumo de água por tipo de ocupação do imóvel.** 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Balneário Camboriú, Novembro de 1983.

BORGER, V. M. N. A., - **Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real, um estudo de caso: Sistema Metropolitano de São Paulo** – ed. rev. – São Paulo, 206 p, 2004.

BURROUGH, P.A . *Principles of geographic information systems of land resources assessment.* Oxford, Claredon Press, 1986.

CÂMARA, G., DAVIS, C., 1999, "**Fundamentos de Geoprocessamento**". *V Congresso eFeira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina.* Salvador,Bahia, Brasil, 19-23 julho.

CAMARGO, M.U.C. **Sistema de Informações Geográficas como Instrumento de Gestão e Saneamento.** ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1997.

CARRIJO, I. B. – **Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina** – Tese de doutorado, 234p. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos / SP, 2004.

CARVALHO, M. S., PINA, M.F., SANTOS, S.M., 2000, *Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde.* Brasília, Organização Pan-Americana da Saúde-Representação no Brasil.

CESÁRIO, A. L.; DAVIS, J. O. – **Calibrating network models** – Journal of the American Water Works Association, vol. 76, n.9, p. 66-69, 1984.

CESÁRIO, L. – **Modeling, analysis, and design of water distribution systems** – American Water Works Association. 1995.

COELHO et. al. (2003) – **Manual de Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água, Vol.2**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa/Portugal, 2003.

DACACH, N.G. – **Sistemas urbanos de água** – Livros técnicos e Científicos Editora. 2º Edição. Rio de Janeiro, 1979.

DENÈGRE,J.; SALGÉ, F. **Les Systèmes d’Information Géographique**. Presses Universitaires de France. Paris, 1996.

FARIA, A.; ALEGRE, H. (1996) – **Paving the way to excellence in water supply systems a national framework for levels-of-service assessment based on consumer satisfaction**. The Maarten Schalekamp Award – 1995, AGUA, 45 (1), pp. 1-12.

GOMES, H.P. **Sistema de abastecimento de água**. 1º edição, João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2002.

GOMES, H.P. **Sistema de abastecimento de água: Dimensionamento Econômico e Operação de redes e elevatórias**. 2º edição. 242p. João Pessoa, Editora Universitária/ UFPB, 2004.

HENRIQUES, A.; WEST, C. (2001)- **Instrumentos econômicos e financeiros para a gestão sustentável da água. Parte 1 – Aspectos conceituais e obrigações estabelecidas pela Diretiva – Quadro da Água. Uma Gestão de Qualidade para o séc. XXI**. Encontro Nacional das Entidades Gestoras de Distribuição e Drenagem de Águas, APDA. Lisboa.

HIMER, W.A., ALEGRE, H., COELHO, S.T. (2000). **Perdas de água em sistemas de abastecimento: conceitos básicos, terminologia e indicadores de desempenho**, Revista Recursos Hídricos, Vol. 20, nº. 1, APRH (15 pág.).

IBGE, **Censos Demográficos – População Total (Cuiabá)**,2000.

IBGE, **Censos Demográficos - Média de moradores por domicílio e por situação (urbana e rural), segundo as unidades territoriais (Mato Grosso)**,1991.

LAMBERT A. – **Water Losses Management and Techniques** – International Report. 2001,

MAYS, L.W. – **Water distribution systems handbook** – McGraw Hill Ed. USA, 2000.

MEDRONHO, R. A., 1993, *A geografia do dengue no município do Rio de Janeiro: uma análise por geoprocessamento*. Tese M.Sc., ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA/FIOCRUZ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MIRANDA. E. C. – **Indicadores de Perdas de Água: Oque, de Fato, Eles Indicam?** – 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasília, 2003.

MOTA, E., CARVALHO, D.M., 1999, "**Sistemas de Informação em Saúde**". In: Rouquayrol, M.Z., Almeida Filho, N., *Epidemiologia & Saúde*, 5 ed., capítulo 17, Rio de Janeiro, Brasil, Medsi.

MOURA, V. M. - **Avaliação da viabilidade de reutilização da água de enxágüe de roupa para descargas sanitárias** – Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, MT, 2003. 140 pág.

MUÑOS, A.H. **Abastecimiento y distribución de água**. Colégio de Ingenieros de Caninos, Canales y Puertos. Madrid, 2000.

NATIONAL BOARD OF FIRE UNDERWRITES – NBFU- **Junta Americana de Companhias de Seguro contra Fogo**, 1975.

NELDER, J. A.; MEAD, R. (1965). **A Simplex Method for Function Minimization**. *The Computer Journal*, v. 7, n. 4, p. 308 – 313.

ORMSBEE, L.E.; LINGIREDDY, S.; **Calibrating Hydraulic Network Models**. Journal of the American Water Works Association, v. 89, n. 2 p. 42 – 50, 1997.

ORSINI, E.Q. – **Sistemas de abastecimento de água**. Apostila de disciplina PHD 412 – Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 1996.

PEREIRA, R., PARANHOS, L. S., 2002, "**Utilização do Cadastro Técnico Multifinalitário no mapeamento de condições de saneamento** - A experiência do Município De Montes Claros/Mg". *Revista IP, Informática Pública*, v.4, n.1 (jun.) p.p 55-70.

CARVALHO, M. S., PINA, M.F., SANTOS, S.M., 2000, **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde**. Brasília, Organização Pan-Americana da Saúde-Representação no Brasil.

PNCDA – Programa Nacional de Combate ao desperdício de água – **Recomendações Gerais e Normas de Referência para Controle de perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento**, Brasília, 1999.

RAMIREZ, M. R. **Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados para Geoprocessamento**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1994. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, M., QUINTANILHA, J. A., 1991, "**A seleção de software SIG para gestão urbana**". *XV Congresso Brasileiro de Cartografia*, São Paulo, SP, Brasil, 28 de julho a 02 de agosto.

ROSSMAN, L. A. et. al., EPANET 2 MANUAL DO UTILIZADOR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2002.

SHAMIR, U.; HOWARD, C.D.D. – **Water distribution systems analysis** – Journal of the Hydraulics Division. ASCE, HY 1, p. 219 – 234, 1968.

SABESP.- **Prospecção tecnológica para modelagem do SCOA** – Relatório Técnico APDA, 1998.

SOARES, A.K. et al. **Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande – MS Via Modelo Inverso**. São Carlos, Artigo Técnico. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

SOARES, A.K. **Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água para Abastecimento Considerando Vazamentos e Demandas Dirigidas pela Pressão**. São Carlos, Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

TECNOMAPAS, **Tecnologia em geoprocessamentos**, Imagem de Satélite QuickBird de 2004, disponível em: [www.tecnomapas.com.br](http://www.tecnomapas.com.br).

TEIXEIRA, A. L. F., 2001, *Análise Espacial de indicadores Sócio-Econômicos Aplicada à Gestão na Área de Saneamento*. Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

TEIXEIRA, A. A.; MATIAS, L.F. ; NOAL, R.H.; et al. - **A História dos SIGs**. Fator GIS- A Revista do Geoprocessamento. Sagres Editora, número 10, páginas 21-26 julho/agosto/setembro, 1995.

TSUTIYA, M. T. - **Abastecimento de água** - 1º edição São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

TSUTIYA, M. T. – **Abastecimento de água** – 2º edição, São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. XIII – 643 pag.

TUCCI, C. E. M. (Coord.) – **Modelos Hidrológicos** – Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998. 669p.

VENTURINI, M.; BARBOSA, P. (2002) – **A contribuição da reabilitação das redes de saneamento de água na preservação dos recursos hídricos**. 10º Encontro ENaSB/SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga.

VON SPERLING, M. **Previsão de População**, Belo Horizonte: UFMG, 2005.

WATER RESEARCH CENTRE. **Network Analysis – A Code for Practice**.  
Published by WRc, Swindon, UK, 1989.

WALSKI, T.M. – **Technique for calibrating network models** – Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 109, n. 4, p. 360 – 372, 1983.

WALSKI, T.M.; BRILL Jr., E.D.; GESSLER, J.; GOULTER, I. C.;JEPPSON, R. M.; LANSEY, K.; LEE, H.; LIEBMAN, J. C.; MAYS, L.; MORGAN, D.R.; ORMSBEE, L. – **Battle of the network models: epilogue** – Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 113, n. 2, p. 191 – 203, 1987.

WALSKI, T. M.; CHASE, D.V.; SAVIC, D. A. – **Water distribution modeling** – Haestad Methods. First edition. Chapter 4. 2001.

YASSUDA, E.R.; NOGAMI, P.S. – **Consumo de água** – Capítulo 4. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. Vol. 1. CETESB. São Paulo, 1976.

YOSHIMOTO, P.M.; SILVA, S.M.N. – **Uso racional de água** – Capítulo 6. In: Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. ABES. São Paulo, 2001.

ZAHED FILHO, K. **Previsão de demanda de consumo em tempo real no desenvolvimento operacional de sistemas de distribuição de água**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP. 135p, 1990.

ZESSLER, U.; SHAMIR, U. **Optimal operation of water distribution systems**. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 115, n. 6, p. 735 – 752, 1989.