

**RENATO GONÇALVES DA MOTTA**

**IMPORTÂNCIA DA SETORIZAÇÃO ADEQUADA PARA COMBATE ÀS  
PERDAS REAIS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

São Paulo  
2010

**RENATO GONÇALVES DA MOTTA**

**IMPORTÂNCIA DA SETORIZAÇÃO ADEQUADA PARA COMBATE ÀS  
PERDAS REAIS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Hidráulica

Orientador:  
Prof. Dr. Podalyro Amaral de Souza

São Paulo

2010

**RENATO GONÇALVES DA MOTTA**

**IMPORTÂNCIA DA SETORIZAÇÃO ADEQUADA PARA COMBATE ÀS  
PERDAS REAIS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Hidráulica

Orientador:  
Prof. Dr. Podalyro Amaral de Souza

São Paulo

2010

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Motta, Renato Gonçalves da**

**Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público / R.G. da Motta. -- São Paulo, 2010.**

**p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.**

**1. Distribuição de água 2. Perdas de água I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.**

## DEDICATÓRIA

*À toda a família pela base e estrutura que permitiram chegar até mais essa importante etapa da vida.*

*Aos amigos e colegas que ajudaram no meu desenvolvimento profissional e também são parte deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Podalyro Amaral de Souza por aceitar o desafio de conduzir este trabalho iniciado pelo Prof. Dr. Milton Tsutiya.

Em memória do Prof. Dr. Milton Tsutiya que iniciou a orientação e que pelas casualidades da vida não pôde concluir essa jornada.

A todos meus amigos e colegas de trabalho que ajudaram na minha formação e desenvolvimento técnico e ajudaram a construir este trabalho.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) onde iniciei meus primeiros trabalhos em perdas de água, representados pelos Engenheiros Eric Carozzi e Pierre Siqueira.

À Encibra Estudos e Projetos de Engenharia, representada pelo Engenheiro Eduardo Colzi, pelas horas disponibilizadas e pelo material cedido para elaboração deste trabalho. Agradecimento especial ao Engenheiro Vagner A. Lima e à Arquiteta Patrícia G. Costa pela ajuda na elaboração dos modelos matemáticos.

A meus pais, irmãos, tios, tias, avós e avôs pelo constante incentivo para buscar sempre mais e aceitar desafios sem medo de falhar pois, o apoio deles não faltará nunca.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o efeito da redução de pressões nas redes de distribuição sob as perdas reais de água. Para desenvolvimento do trabalho foram recolhidos dados de campo que permitiram avaliar as condições dos sistemas de distribuição e montar modelos matemáticos para realização de simulações hidráulicas. A partir dos modelos, se desenvolveram os estudos de caso para o Setor de Abastecimento de Ermelino Matarazzo (no município de São Paulo) e para o Setor Fonte (em Araraquara). No caso do Setor Ermelino, efetivamente implantaram-se subsetores controlados por válvulas redutoras de pressão (VRPs), obtendo-se reduções significativas na vazão fornecida à distribuição. Para o Setor Fonte, foram realizados estudos para reformulação da setorização existente e subdivisão em Distritos de Medição e Controle (DMCs) levando-se em conta todas as obras para melhoria e adequação do sistema de distribuição. A subsetorização proposta para o Setor Fonte não foi efetivamente implantada mas os modelos desenvolvidos mostraram que apenas com a subdivisão do setor já é possível a redução nas pressões de distribuição e conseqüentemente redução das perdas reais. Para o Setor Ermelino optou-se pela solução com resultados imediatos através da instalação das válvulas: as perdas reais foram reduzidas, embora tenha significado que 80% da extensão de rede da zona alta do setor tenha ficado protegida por VRPs, o que sugere um desperdício de energia. Já no Setor Fonte buscou-se uma solução mais abrangente para otimização do sistema de distribuição e equilíbrio hidráulico do plano piezométrico, que também apresenta resultados satisfatórios na redução das perdas reais de água. Finalmente, concluiu-se, através dos resultados obtidos em ambos os estudos que a redução das pressões na distribuição está intimamente ligada à redução das perdas reais de água. A diferença entre eles é a abrangência dos estudos. É desejável que o imediatismo dos resultados obtidos pela instalação das VRPs seja confrontado com ações de longo prazo e que a utilização de VRPs seja acessória ao sistema de distribuição e não usada indiscriminadamente.

Palavras-chave: Distribuição de Água. Perdas de Água.

## **ABSTRACT**

The following study aims to present the effect of pressure reducing in the distribution networks over the water real loss. For development of the studies, were collected field data that allowed to evaluate the distribution systems conditions and build mathematical models for hydraulic simulations. From the hydraulics models, were developed cases for the Water Supply Ermelino Matarazzo District (in São Paulo) and the Fonte District (in Araraquara). In the Ermelino District's case, in fact were deployed pressure reducing valves (PRVs) sub-districts, resulting in significant reductions in the supplied flow to the distribution system. For the Fonte District, studies were developed to reformulate the existing sectorization and the subdivision into District Meter Areas (DMAs) taking into account all the activities for improvement and adjustment of the distribution system. The proposal to subdivide the Fonte District had not been effectively implemented, but the models developed showed that only the sub-sector division is enough to reduce the pressure distribution and therefore reduce real losses. For Ermelino District was chosen the solution with immediate results through the installation of the valves: the actual losses have been reduced, meaning that although 80% of the network extension of the High Service Area has been protected by PRVs, which suggests an energy waste. In the Fonte District sought an embracing solution for the distribution system optimizing and gain the best hydraulic balance of the piezometric plan, that also provides satisfactory results in the reduction of real losses. Finally, it was concluded through the results obtained in both studies that, the pressure reduction in distribution system is closely linked to the real losses reduction. The difference between them is the scope of the studies. It is desirable that the immediate results achieved by the PRVs installation be compared with long-term actions and, the use of PRVs should be an accessory to the distribution system and not used indiscriminately.

Keywords: Water Distribution. Water Loss

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Evolução do consumo de água .....   | 22 |
| Figura 2 – Índices de perdas de faturamento em 2007, distribuido por faixas percentuais, nos estados brasileiros ..... | 24 |
| Figura 3 – Índice percentual de perdas de faturamento em 2007 .....  | 25 |
| Figura 4 – Recursos disponibilizados para controle de perdas x Índice Perdas Reais na RMSP .....                       | 26 |
| Figura 5 – Programa de Redução de Pressões - RMSP .....  | 28 |
| Figura 6 – Setor de Abastecimento típico .....   | 34 |
| Figura 7 – Entrada de dados para simulação hidráulica .....  | 37 |
| Figura 8 – Resultado de simulações hidráulicas utilizando os programas para modelagem hidráulica. ....                 | 38 |
| Figura 9 – Tubos de Pitot .....  | 40 |
| Figura 10 – Curvas de velocidade obtidas através do Tubo de Pitot.....   | 41 |
| Figura 11 – Distritos Medição e Controle.....  | 43 |
| Figura 12 – Fluxos preferenciais conforme setorização .....  | 44 |
| Figura 13 – Matriz do balanço hídrico.....   | 51 |
| Figura 14 – Cruz de Perdas Reais .....   | 53 |
| Figura 15 – Ações de Controle e redução de perdas reais.....   | 54 |
| Figura 16 – Fator N1 - Relação Vazão x Pressão .....   | 57 |
| Figura 17 – Componentes da Vazão Mínima Noturna.....   | 58 |
| Figura 18 – Montagem típica de conjunto para VRP. ....   | 66 |
| Figura 19 – Obra de implantação de subsetor controlado por VRP. ....   | 66 |
| Figura 20 – Válvulas Redutoras de Pressão de ação direta.....  | 68 |
| Figura 21 – Válvulas Redutoras de Pressão de Ação Indireta .....   | 69 |
| Figura 22 – Válvulas Redutoras de Pressão, tipo de corpo.....  | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 23 – Atuador Câmara Simples e Dupla .....   | 70  |
| Figura 24 – Válvula de fluxo anular .....  | 70  |
| Figura 25 – Condições de contorno para regulagem da VRP .....  | 72  |
| Figura 26 – Instalações típicas de controladores eletrônicos .....   | 74  |
| Figura 27 – Histograma de Vazão e Pressão - Subsetor sem controle de pressões  | 75  |
| Figura 28 – Histograma de Vazão e Pressão – Subsetor de VRP com saída Fixa ..  | 76  |
| Figura 29 – Histograma de Vazão e Pressão – Subsetor de VRP com saída modulada por tempo.....  | 76  |
| Figura 30 – Histograma de Vazão e Pressão - Subsetor de VRP com saída modulada por vazão .....   | 77  |
| Figura 31 – Vazões antes e depois do controle de pressões .....  | 79  |
| Figura 32 – Fluxograma de atividades.....  | 82  |
| Figura 33 – Manômetros analógicos .....  | 95  |
| Figura 34 – Medidores de inserção .....  | 95  |
| Figura 35 – Data-logger de vazão e pressão.....  | 96  |
| Figura 36 – Data-logger de vazão e pressão instalado .....   | 97  |
| Figura 37 – Ambientes do software PMAC Lite .....  | 97  |
| Figura 38 – Superfície gerada pelo software Autodesk Land Development Desktop  | 98  |
| Figura 39 – Topografia da Setor de Abastecimento Ermelino Matarazzo.....   | 101 |
| Figura 40 – Zonas de pressão e subsetores de VRPs no Setor Ermelino antes do novo programa de controle de pressões (abril de 2007) ..... | 104 |
| Figura 41 – Proposta para novos subsetores controlados por VRPs no Setor Ermelino .....  | 111 |
| Figura 42 – Simulação hidráulica para vazão máxima no Setor Ermelino.....  | 112 |
| Figura 43 – Simulação hidráulica para vazão mínima no Setor Ermelino.....  | 113 |
| Figura 44 – Configuração final do Setor Ermelino Matarazzo após implantação dos subsetores de VRP (maio de 2008).....                    | 134 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 45 – Esquema hidráulico do Setor Fonte .....  | 136 |
| Figura 46 – Zonas de pressão no Setor Fonte antes da nova proposta de setorização (setembro de 2007) ..... | 138 |
| Figura 47 – Campanha de medições de pressão instantâneas e pontos de instalação de data-loggers .....      | 141 |
| Figura 48 – Simulação hidráulica para a vazão mínima nas condições iniciais do setor (2008) .....          | 152 |
| Figura 49 – Simulação hidráulica para a vazão máxima nas condições iniciais do setor (2008) .....          | 153 |
| Figura 50 – Proposta para subdivisão das zonas de pressão .....  | 155 |
| Figura 51 – Obras subsetorização da Zona Alta 1 do Setor Fonte .....                                       | 157 |
| Figura 52 – Obras subsetorização da Zona Média do Setor Fonte .....  | 158 |
| Figura 53 – Proposta para subdivisão das zonas de pressão incluindo distritos de medição e controle .....  | 161 |
| Figura 54 – Simulação hidráulica para a vazão mínima nas condições propostas.                              | 162 |
| Figura 55 – Simulação hidráulica para a vazão máxima nas condições propostas                               | 163 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 1 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Pedro Viviani .....  | 116 |
| Gráfico 2 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP Pedro Viviani.....     | 116 |
| Gráfico 3 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Pedro Viviani.....     | 117 |
| Gráfico 4 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Pedro Viviani.....       | 117 |
| Gráfico 5 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Pedro Viviani.....       | 118 |
| Gráfico 6 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Dona Ana Flora ..... | 119 |
| Gráfico 7 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP Dona Ana Flora.....    | 120 |
| Gráfico 8 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Dona Ana Flora.....    | 120 |
| Gráfico 9 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Dona Ana Flora .....     | 121 |
| Gráfico 10 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Dona Ana Flora.....     | 121 |
| Gráfico 11 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Nordestina .....    | 124 |
| Gráfico 12 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Nordestina .....      | 124 |
| Gráfico 13 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Nordestina .....        | 125 |
| Gráfico 14 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP São Miguel .....    | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 15 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP São Miguel.....          | 127 |
| Gráfico 16 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP São Miguel.....          | 127 |
| Gráfico 17 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP São Miguel.....            | 128 |
| Gráfico 18 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP São Miguel.....            | 128 |
| Gráfico 19 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Antonio Siqueira ..... | 130 |
| Gráfico 20 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP Antonio Siqueira .....   | 130 |
| Gráfico 21 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Antonio Siqueira .....   | 131 |
| Gráfico 22 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Antonio Siqueira .....     | 131 |
| Gráfico 23 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Antonio Siqueira .....     | 132 |
| Gráfico 24 – Variação do nível operacional Setor Fonte Zona Baixa .....                             | 142 |
| Gráfico 25 – Variação do nível operacional Setor Fonte Zona Média .....                             | 142 |
| Gráfico 26 – Variação do nível operacional Setor Fonte Zona Alta .....                              | 143 |
| Gráfico 27 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Baixa do Setor Fonte .....                      | 143 |
| Gráfico 28 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Média do Setor Fonte.....                       | 144 |
| Gráfico 29 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Alta do Setor Fonte (saída Centro) .....        | 144 |
| Gráfico 30 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Alta do Setor Fonte (saída Jd. Imperador).....  | 145 |
| Gráfico 31 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Baixa.....                     | 145 |
| Gráfico 32 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Média .....                    | 146 |

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 33 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Média.....  | 146 |
| Gráfico 34 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Média.....  | 147 |
| Gráfico 35 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Baixa 2.... | 147 |
| Gráfico 36 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Baixa 2.... | 148 |
| Gráfico 37 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta .....  | 148 |
| Gráfico 38 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta .....  | 149 |
| Gráfico 39 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta .....  | 149 |
| Gráfico 40 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta .....  | 150 |
| Gráfico 41 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta .....  | 150 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 – Quantidade de água por habitante por Estado brasileiro.....                                  | 23  |
| Quadro 2 – Indicadores típicos de perdas .....  | 27  |
| Quadro 3 – Origem e magnitude das Perdas de Água .....  | 49  |
| Quadro 4 – Origem e magnitude das Perdas de Água (continuação) .....                                    | 50  |
| Quadro 5 – Valores típicos para consumo noturno .....   | 61  |
| Quadro 6 – Pressões estáticas atuantes por zona de pressão – Setor Ermelino...                          | 100 |
| Quadro 7 – Extensão de rede por idade no Setor Ermelino .....   | 102 |
| Quadro 8 – Redes cobertas por VRPs no Setor Ermelino em 2007.....                                       | 103 |
| Quadro 9 – Indicadores operacionais no Setor Ermelino .....   | 106 |
| Quadro 10 – Redes cobertas por VRPs no Setor Ermelino em 2007 .....                                     | 108 |
| Quadro 11 – Estimativa de vazões para modelagem do Setor Ermelino.....                                  | 110 |
| Quadro 12 – Resultados Estimativa de vazões para modelagem do Setor Ermelino<br>.....                   | 133 |
| Quadro 13 – Pressões estáticas atuantes por zona de pressão – Setor Fonte.....                          | 137 |
| Quadro 14 – Volumes fornecidos e medidos e índices de perdas por zona de<br>pressão – Setor Fonte ..... | 139 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas                    |
| ANC    | Água Não Contabilizada                                      |
| AWWA   | American Water Works Association                            |
| BIRD   | Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento |
| CLP    | Controlador Lógico Programável                              |
| CR     | Centro de Reservação  |
| DMC    | Distrito de medição e Controle                              |
| DP     | Distrito Pitométrico  |
| DTA    | Documento Técnico de Apoio                                  |
| FAVAD  | Fixed and Variable Area Discharge Paths                     |
| FND    | Fator Noite Dia   |
| FUPAM  | Fundação para Pesquisa Ambiental                            |
| IVI    | Índice de Vazamentos da Infraestrutura                      |
| IWA    | International Water Association                             |
| LYSA   | Lyonnais des Eaux Services Associes                         |
| NA     | Nível de Água   |
| NBR    | Norma Brasileira  |
| PC     | Ponto Crítico   |
| PNCDA  | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água         |
| PRAI   | Perda Real Inevitável                                       |
| RMSP   | Região Metropolitana de São Paulo                           |
| Sabesp | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo       |
| SNIS   | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento            |
| TAP    | Registro de Derivação                                       |
| VMN    | Vazão Mínima Noturna  |
| VPRR   | Volume de Perdas Reais Recuperável                          |
| VRP    | Válvula Redutora de Pressão                                 |
| WRC    | Water Research Center                                       |
| WRI    | World Resource Institute                                    |
| ZA     | Zona Alta   |
| ZB     | Zona Baixa  |
| ZM     | Zona Média  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|          |   |                   |
|----------|---|-------------------|
| i        | Idade da rede de distribuição                           | anos              |
| $K_1$    | Coefficiente do dia de maior consumo                    | Adimensional      |
| $K_2$    | Coefficiente da hora de maior consumo                   | Adimensional      |
| $K_3$    | Coefficiente da hora de menor consumo                   | Adimensional      |
| $K_4$    | Perdas totais   | Adimensional      |
| $N_1$    | Expoente que depende das características das tubulações | Adimensional      |
| p        | Carga piezométrica                                      | mH <sub>2</sub> O |
| Q        | Vazão em volume   | m <sup>3</sup> /h |
| $Q_{GC}$ | Consumo dos grandes consumidores                        | m <sup>3</sup> /h |
| $Q_L$    | Consumo Legítimo  | m <sup>3</sup> /h |
| S        | Área  | m <sup>2</sup>    |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                       | <b>21</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA.....   | 27        |
| 1.2      | OBJETIVO .....   | 29        |
| 1.2.1    | Objetivo geral .....   | 29        |
| 1.2.2    | Objetivo específico .....                                    | 29        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                           | <b>31</b> |
| 2.1      | SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....                | 31        |
| 2.1.1    | Definições .....   | 31        |
| 2.1.2    | Setorização e subsetorização .....                           | 33        |
| 2.1.3    | Ferramentas computacionais para modelagem hidráulica .....   | 36        |
| 2.1.4    | Distritos de Medição e Controle (DMC) .....                  | 39        |
| 2.2      | PERDAS DE ÁGUA.....  | 46        |
| 2.2.1    | Histórico.....   | 46        |
| 2.2.2    | Perdas de água em sistemas de abastecimento de água.....     | 48        |
| 2.2.3    | Ações de Combate e Controle de Perdas Reais.....             | 52        |
| 2.2.4    | Relação Pressão na Distribuição vs Vazão de Vazamento.....   | 55        |
| 2.2.5    | Vazão mínima noturna .....                                   | 57        |
| 2.2.5.1  | <i>Perdas Reais Inerente e Perdas Reais Inevitáveis.....</i> | <i>61</i> |
| 2.3      | VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO .....                          | 64        |
| 2.3.1    | Dimensionamento e Instalação de VRPs .....                   | 65        |
| 2.3.2    | Tipos de Válvulas Redutoras de Pressão .....                 | 67        |
| 2.3.3    | Regulagem e Operação das VRPs .....                          | 72        |
| 2.3.4    | Resultados do Controle de Pressão.....                       | 78        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA .....</b>                 | <b>81</b> |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>3.1</b> | <b>MÉTODOS UTILIZADOS.....</b>                                  | <b>81</b>  |
| 3.1.1      | Fluxograma das atividades .....                                 | 81         |
| 3.1.2      | Estudos preliminares.....                                       | 83         |
| 3.1.3      | Medição de pressões instantâneas (manometria).....              | 83         |
| 3.1.4      | Teste de estanqueidade.....                                     | 84         |
| 3.1.5      | Modelagem matemática.....                                       | 85         |
| 3.1.5.1    | <i>Manipulação dos dados de entrada no modelo .....</i>         | <i>86</i>  |
| 3.1.5.2    | <i>Construção e calibração dos modelos.....</i>                 | <i>87</i>  |
| 3.1.5.3    | <i>Apresentação gráfica dos resultados.....</i>                 | <i>89</i>  |
| 3.1.6      | Medições de vazão e pressão por período estendido .....         | 90         |
| 3.1.7      | Dimensionamento de conjunto para redução de pressões.....       | 92         |
| 3.1.8      | Projeto e instalação de conjunto para redução de pressões.....  | 92         |
| 3.1.9      | Operação e regulagem de VRPs .....                              | 93         |
| 3.1.10     | Análises de resultados obtidos .....                            | 94         |
| <b>3.2</b> | <b>MATERIAIS UTILIZADOS .....</b>                               | <b>94</b>  |
| 3.2.1      | Medições de pressões instantâneas .....                         | 94         |
| 3.2.2      | Medições de vazão e pressão em TAP.....                         | 95         |
| 3.2.3      | Medição de vazão e pressão com data-loggers .....               | 96         |
| 3.2.4      | Softwares utilizados para a modelagem matemática.....           | 98         |
| <b>4</b>   | <b>ESTUDOS DE CASO .....</b>                                    | <b>99</b>  |
| 4.1        | <b>SETOR DE ABASTECIMENTO ERMELINO MATARAZZO (RMSP).....</b>    | <b>99</b>  |
| 4.1.1      | Caracterização da área de estudo .....                          | 99         |
| 4.1.2      | Indicadores operacionais .....                                  | 105        |
| 4.1.3      | Definição das áreas potenciais para controle de pressões.....   | 107        |
| 4.1.4      | Medições, implantação e resultados do controle de pressões..... | 114        |
| 4.1.4.1    | <i>Subsetor VRP Pedro Viviani.....</i>                          | <i>115</i> |

|         |  |            |
|---------|--|------------|
| 4.1.4.2 | <i>Subsetor VRP Dona Ana Flora</i> .....                               | 119        |
| 4.1.4.3 | <i>Subsetor VRP Nordestina</i> .....                                   | 123        |
| 4.1.4.4 | <i>Subsetor VRP São Miguel</i> .....                                   | 126        |
| 4.1.4.5 | <i>Subsetor VRP Antonio Siqueira</i> .....                             | 129        |
| 4.1.5   | <b>Consolidação dos resultados</b> .....                               | <b>132</b> |
| 4.2     | <b>SETOR DE ABASTECIMENTO FONTE (ARARAQUARA/SP)</b> .....              | <b>135</b> |
| 4.2.1   | <b>Caracterização da área de estudo</b> .....                          | <b>135</b> |
| 4.2.2   | <b>Indicadores operacionais</b> .....                                  | <b>139</b> |
| 4.2.3   | <b>Medições de campo e simulações hidráulicas iniciais</b> .....       | <b>140</b> |
| 4.2.4   | <b>Proposta da nova setorização</b> .....                              | <b>154</b> |
| 4.2.4.1 | <i>Subsetorização Setor Fonte Zona Alta</i> .....                      | 156        |
| 4.2.4.2 | <i>Subsetorização Setor Fonte Zona Média</i> .....                     | 157        |
| 4.2.4.3 | <i>Subsetorização Setor Fonte Zona Baixa</i> .....                     | 159        |
| 4.2.5   | <b>Consolidação da alternativa proposta e subdivisão em DMCs</b> ..... | <b>159</b> |
| 4.2.6   | <b>Resultados teóricos obtidos na redução de perdas reais</b> .....    | <b>164</b> |
| 5       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....                                   | <b>166</b> |
| 6       | <b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                         | <b>171</b> |
| 7       | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                | <b>172</b> |
| 7.1     | <b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....                                   | <b>172</b> |
| 7.2     | <b>BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA</b> .....                                  | <b>175</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A água é indispensável à manutenção da vida, além de secundariamente cumprir variadas funções em todas as atividades produtivas humanas. Considerada um recurso abundante e inesgotável, nunca houve uma grande preocupação com a conservação de água que era utilizada irrestritamente.

A água é o elemento fundamental da vida. Seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro de atividades humanas, onde se destacam, entre outras, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática.

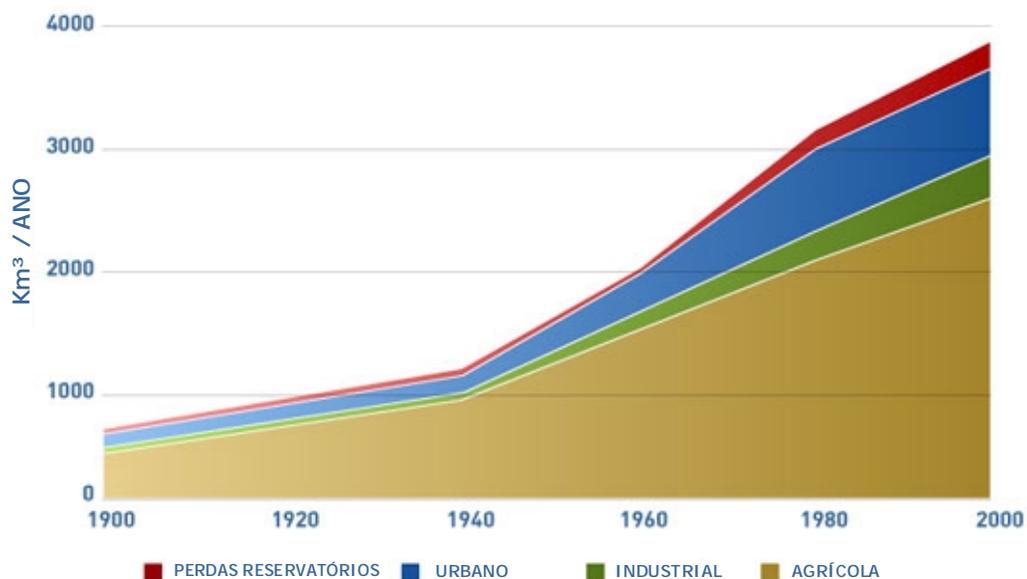
Após a industrialização ocorreram profundas mudanças sociais, culturais e econômicas além de físicas e territoriais por todo o planeta. As populações rurais passam a constituir os primeiros aglomerados urbanos ao redor das novas indústrias localizadas, geralmente, às margens de corpos d'água que supriam o abastecimento industrial e permitiam o lançamento de efluentes. A partir desse momento dois grandes problemas passam a tomar forma: concentração da demanda por água potável e poluição dos corpos d'água.

O crescimento das populações urbanas aumentou e concentrou, substancialmente, as demandas por água potável tanto para suprir as necessidades de abastecimento público nos centros urbanos em desenvolvimento quanto para abastecer as novas indústrias em seus processos de produção.

Dentro desse cenário dominou a cultura da abundância, pois por maior que fossem os consumos, os desperdícios e a poluição dos recursos hídricos, sempre foi possível encontrar uma nova fonte de água próxima e de qualidade boa que suprisse confortavelmente o abastecimento.

No entanto observa-se ao longo dos anos que o crescimento das demandas é geométrico em todas as atividades humanas, como apresentado na figura 1, a seguir.

## ESTIMATIVA MUNDIAL DO USO DE ÁGUA



Fonte: FAO, 2008

Figura 1 – Evolução do consumo de água

No Brasil, detentor de uma das maiores reservas de água doce do mundo com cerca de 13% da água doce do planeta (WRI, 2003), parece irônico pensar numa possível carência de água. Todavia algumas regiões do país já sofrem os efeitos do desabastecimento ou são consideradas áreas com condições críticas para abastecimento.

Esse fenômeno pode ser explicado quando se analisam as distribuições dos recursos hídricos (vide quadro a seguir) e da população, ou seja, o Sul e o Sudeste do país possuem uma concentração populacional urbana muito alta em oposição à quantidade de água disponível. Já o Norte e o Centro-Oeste apresentam um quadro inverso, sendo o Nordeste um caso a parte devido às condições climáticas da região.

Quadro 1 – Quantidade de água por habitante por Estado brasileiro

| Abundância (acima de 20mil m <sup>3</sup> /hab/ano)      |           | Rico (entre 5mil e 10mil m <sup>3</sup> /hab/ano)        |       |
|--|-----------|--|-------|
| Roraima  | 1.747.011 | Piauí  | 9.609 |
| Amazonas   | 878.930   | Espírito Santo   | 7.236 |
| Amapá  | 678.930   | Equilíbrio (entre 2,5mil e 5mil m <sup>3</sup> /hab/ano) |       |
| Acre   | 369.306   | Bahia  | 3.029 |
| Mato Grosso  | 258.243   | São Paulo  | 2.914 |
| Pará   | 217.059   | Pobre (entre 1,5mil e 2,5mil m <sup>3</sup> /hab/ano)    |       |
| Tocantins  | 137.667   | Ceará  | 2.437 |
| Rondônia   | 132.819   | Rio de Janeiro   | 2.316 |
| Mato Grosso do Sul                                       | 39.186    | Rio Grande do Norte                                      | 1.782 |
| Goiás  | 39.186    | Distrito Federal   | 1.753 |
| Rio Grande do Sul  | 20.799    | Alagoas  | 1.752 |
| Muito rico (entre 10mil e 20mil m <sup>3</sup> /hab/ano) |           | Sergipe  | 1.744 |
| Maranhão   | 17.185    | Crítico (inferior a 1,5mil m <sup>3</sup> /hab/ano)      |       |
| Santa Catarina   | 13.663    | Paraíba  | 1.437 |
| Paraná   | 13.432    | Pernambuco   | 1.320 |
| Minas Gerais   | 12.326    |  |       |

Fonte: Barth, 2002

Não podemos descartar o fato de que a contaminação dos mananciais através do lançamento de esgotos in natura, a impermeabilização do solo e a canalização dos corpos d'água, além da explosão demográfica nas regiões metropolitanas, obrigou as companhias de saneamento a procurarem mananciais cada vez mais distantes, aumentando significativamente os custos em obras de infra-estrutura que atendam à demanda de consumo. Assim sendo os mananciais dessas cidades não são auto-sustentáveis.

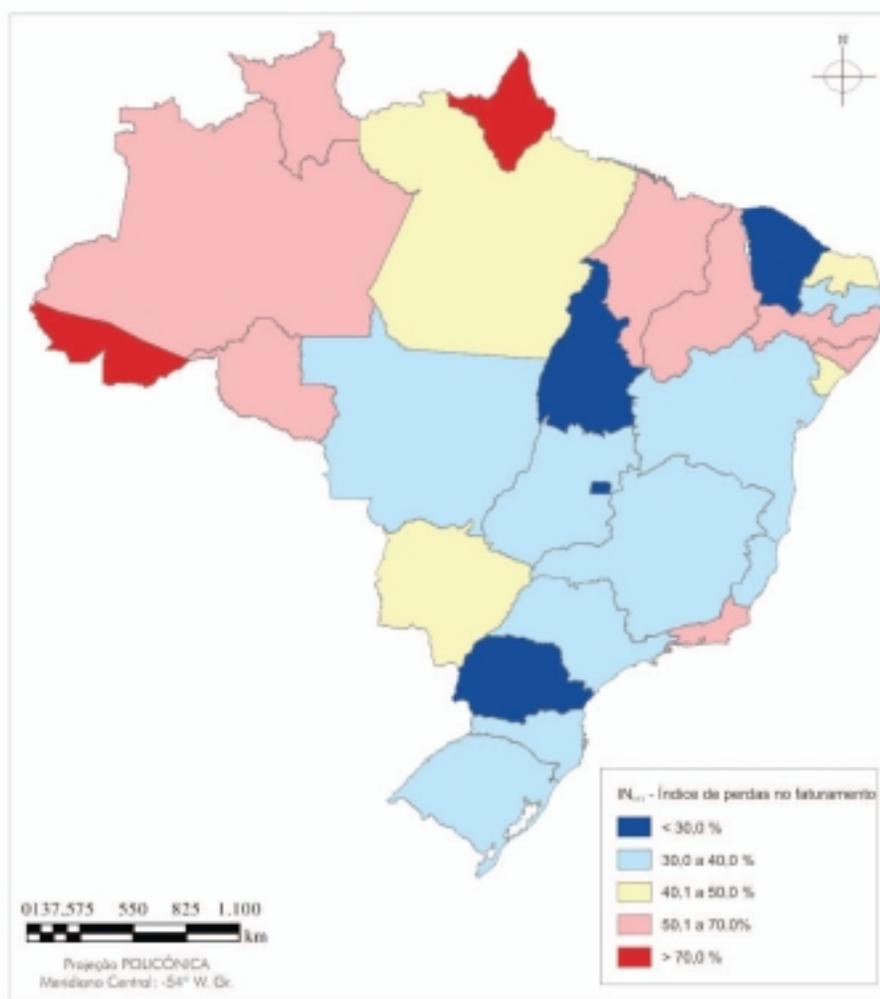
Ao longo dos anos, o binômio aumento de demanda e degradação dos recursos atingiu níveis insustentáveis. A escassez de água tornou-se uma realidade crônica.

A falta de gerência dos recursos hídricos no Brasil também é um fator importante que contribui para escassez de água nas principais capitais que sofrem constantemente com os racionamentos. No país, a grande maioria dos serviços de saneamento básico é realizada pela administração pública.

As limitações técnicas e econômicas da administração pública traduzem-se, na grande maioria, em sistemas públicos deficitários e que não cumprem adequadamente as funções básicas de atendimento à população.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, vinculada ao Ministério das Cidades, periodicamente divulga um relatório chamado “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto” que compila os dados Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS.

A expressão da gestão deficiente de sistemas públicos é refletida nos indicadores de perdas de faturamento. As perdas de faturamento “empobrecem” as companhias de saneamento que não possuem receita suficiente para manter os sistemas tampouco ampliá-los. A seguir se apresenta o mapa das perdas de faturamento.

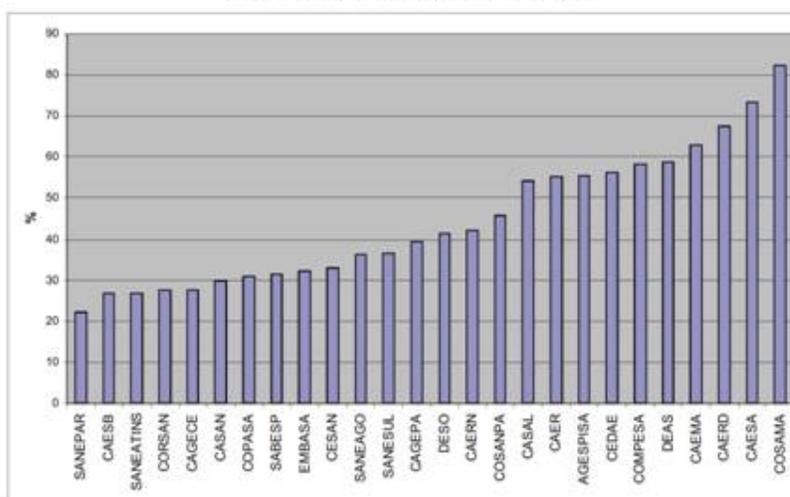


Fonte: SNIS, 2007

Figura 2 – Índices de perdas de faturamento em 2007, distribuído por faixas percentuais, nos estados brasileiros

As perdas tendem sempre a aumentar se não há investimento permanente e adequado na manutenção dos sistemas. É bastante preocupante a situação das companhias com indicadores de perdas elevados pois, com cada vez menos arrecadação, menores serão os investimentos no sistema que tenderá ao colapso de todas suas estruturas.

Abaixo é apresentado um gráfico, reproduzido do relatório Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, que mostra os indicadores de algumas companhias públicas de abastecimento.



Fonte: SNIS, 2007

Figura 3 – Índice percentual de perdas de faturamento em 2007

Observando índices de perdas que chegam a ser superior a 80%, é imprescindível que as companhias de saneamento básico estabeleçam um plano estratégico de ações para aumentar suas receitas, reduzindo perdas e aumentar a capacidade de abastecimento.

Algumas companhias públicas de água já desenvolvem uma série de programas para conservação de recursos hídricos. Sabe-se que nenhuma ação é eficaz isoladamente e apenas a combinação de um conjunto de ações poderá reverter a situação atual da escassez de recursos.

Passa por uma decisão gerencial o plano ou planos a serem seguidos de acordo com as realidades financeiras das companhias e estabelecer as políticas de controle de perdas.

Essas ações e políticas devem ser focadas e permanentemente monitoradas para não se tornarem inócuas. Estabelecer metas e cumpri-las é fundamental para o sucesso de qualquer que seja a matriz escolhida entre os programas de conservação de recursos hídricos.

Isso não exclui os investimentos que devem ser feitos em outras ações para combate de perdas. Como pode ser visto na figura 4, a seguir, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp investe anualmente em diversas ações de combate a perdas.



Fonte: Soares, 2004

Figura 4 – Recursos disponibilizados para controle de perdas x Índice Perdas Reais na RMSP

Fica claro a partir da figura que o investimento deve ser contínuo para que se alcance os resultados desejados, uma vez que, diminuídos os investimentos, aumentam-se as perdas de água.

Mesmo com programas muito bem estruturados ainda há muito a ser feito em relação ao controle de perdas. A Sabesp, que possui um dos programas mais sólidos de controle de perdas no país, apresenta, em seu último Relatório Analítico de Perdas (2008), um índice de perdas na distribuição da RMSP de 452 L/ligação.dia. Esse valor de perdas é bastante elevado quando comparado a sistemas semelhantes ao redor do mundo.

O Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento – BIRD estabeleceu um “sistema de bandas” através do qual é possível comparar o desempenho dos sistemas de abastecimento baseado em indicadores de perdas

típicos a serem esperados em países desenvolvidos ou em desenvolvimento em função das pressões médias na distribuição de água. O Quadro a seguir apresenta esses indicadores (Liemberger et al, 2007):

**Quadro 2 – Indicadores típicos de perdas**

| Categoria de Performance  | IV | Perdas Reais em L/ligação.dia, com sistema pressurizado à média de: |                      |                      |                      |                      |          |
|---------------------------|----|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
|                           |    | 10 mH <sub>2</sub> O  | 20 mH <sub>2</sub> O | 30 mH <sub>2</sub> O | 40 mH <sub>2</sub> O | 50 mH <sub>2</sub> O |          |
| Países Desenvolvidos      | A  | 1-2   |                      | <50                  | <75                  | <100                 | <125     |
|                           | B  | 2-4   |                      | 50-100               | 75-150               | 100-200              | 125-250  |
|                           | C  | 4-8   |                      | 100-200              | 150-300              | 200-400              | 250-500  |
|                           | D  | >8  |                      | >200                 | >300                 | >400                 | >500     |
| Países em Desenvolvimento | A  | 1-4   | <50                  | <100                 | <150                 | <200                 | <250     |
|                           | B  | 4-8   | 50-100               | 100-200              | 150-300              | 200-400              | 250-500  |
|                           | C  | 8-16  | 100-200              | 200-400              | 300-600              | 400-800              | 500-1000 |
|                           | D  | >16   | >200                 | >400                 | >600                 | >800                 | >1000    |

A RMSP pode ser enquadrada como um sistema de categoria “C” dentro do grupo de países em desenvolvimento. Portanto, há muitas ações de combate às perdas a serem desenvolvidas para a melhoria desses indicadores.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com vistas à conservação de recursos hídricos para abastecimento humano, isto é, a garantia ao acesso à água potável propriamente, as ações de combate às perdas reais devem merecer especial atenção.

Além disso, os volumes de perdas reais são bastante significativos, cerca de metade das perdas são devido aos vazamentos nos sistemas de abastecimento. Deste total, de 70% a 90% ocorrem na distribuição de água (Marcka, 2004).

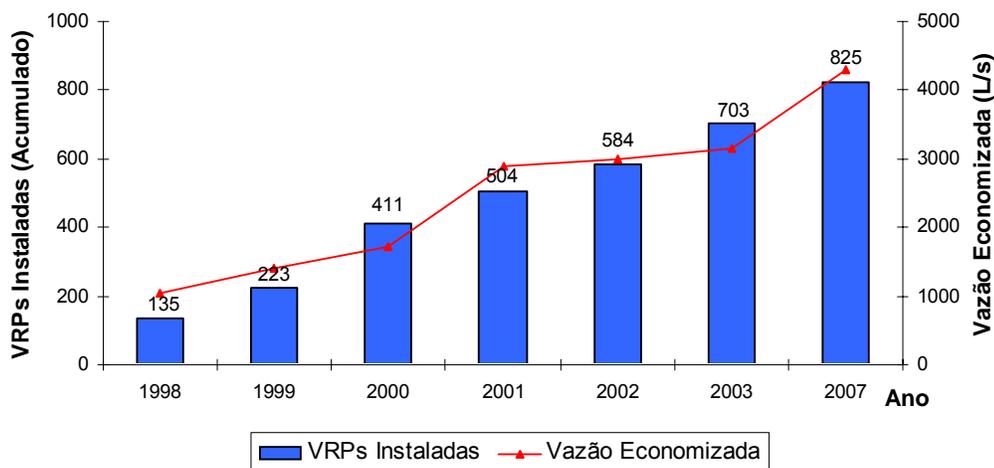
Segundo dados da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, em 2008, 65% das perdas na Região Metropolitana de São Paulo

ocorreram em vazamentos (perdas reais). Esses vazamentos, que ocorrem principalmente na rede de distribuição e ramais prediais, estão diretamente relacionados às pressões de serviço (Sabesp, 2009).

Nesse contexto, a Sabesp vem empregando largamente válvulas redutoras de pressão nas redes de distribuição como uma das principais ações de combate às perdas de água.

Através da instalação de válvulas redutoras de pressão a Sabesp vem alcançando resultados expressivos em economia de água potável. O investimento para implantação de VRP's é baixo e apresenta resultados eficazes para a conservação de recursos hídricos.

Até 2007, existiam 825 válvulas operando na RMSP e cobrindo uma extensão de 30% das redes de distribuição existente (cerca de 8.000km). A economia gerada por essa ação de controle é de 4,2 m<sup>3</sup>/s, o que equivale ao consumo de água do município de Guarulhos (Freitas *et al.*, 2007). A figura 5, a seguir, apresenta a evolução do volume de água recuperado em função do número de válvulas instaladas.



Fonte: Freitas, 2007

Figura 5 – Programa de Redução de Pressões - RMSP

O volume economizado, apenas em 2007, corresponde a 132 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Segundo o SNIS (2007), o custo médio marginal da água tratada é de R\$ 1,07/m<sup>3</sup>.

Portanto, em termo financeiros, a economia obtida pela Sabesp representa R\$ 140 milhões em receita recuperada que pode ser revertida para melhoria do próprio sistema de abastecimento público.

É evidente que a utilização de válvulas redutoras de pressão é extremamente eficaz para o controle de pressões nas redes de distribuição e permite a recuperação de grandes volumes de água outrora perdidos.

Embora seja uma estratégia bastante interessante para controle de perdas, a instalação de VRPs não deve ser entendida como a única alternativa para redução de pressões nas redes de distribuição.

A reformulação de setores de abastecimento e o planejamento de novos setores devem promover condições de pressões na distribuição não superiores aos valores satisfatórios para o abastecimento. A utilização das válvulas redutoras de pressão deve ser entendida como um acessório na rede de distribuição a ser utilizado em situações pontuais. O uso indiscriminado da VRP para controle de pressões não é uma prática recomendável.

Atualmente existem os programas de modelagem matemática que reproduzem com fidelidade o comportamento hidráulico das redes de distribuição e facilitam bastante a concepção de novos sistemas de abastecimento bem como a reformulação de setores existentes.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é apresentar o impacto da redução de pressão na rede de distribuição sob as perdas reais de água através da análise das curvas de consumo em microzonas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs).

### **1.2.2 Objetivo específico**

Especificamente deseja-se mostrar que a correta setorização é o caminho mais razoável para se promover o controle de pressões na distribuição de água e que a

utilização de válvulas redutoras de pressão deve ser entendida como um acessório a ser utilizado em casos particulares e não indiscriminadamente como uma solução única ao controle de perdas através da redução de pressões nas redes.

Como objetivo secundário, deseja-se mostrar que modelos hidráulicos computacionais podem auxiliar no planejamento para implantação de novos setores de abastecimento, bem como nas análises corretivas dos sistemas existentes com o foco na redução das pressões de serviço na rede de distribuição e conseqüente redução das perdas reais.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo será apresentada toda a bibliografia anotada que permitiu o desenvolvimento da pesquisa. Assim, discorrer-se-á a cerca dos conceitos técnicos básicos relativos aos sistemas públicos de abastecimento de água e às perdas de água inerentes à distribuição de água.

O capítulo será organizado em duas partes: a primeira conceitua brevemente os sistemas de abastecimento público de água, para que se tenha um melhor entendimento de como a setorização está intimamente ligada às perdas de água.

A segunda parte dedicar-se-á às perdas de água inerentes aos sistemas de abastecimento, enfocando as perdas reais ocorridas na distribuição de água e as ações para controle dessas perdas.

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

#### **2.1.1 Definições**

Os sistemas públicos de abastecimentos de água compreendem todas as estruturas necessárias desde a captação de água em seu estado bruto até o ponto de consumo de água potável. Em linhas gerais, os componentes do sistema são (Tsutiya, 2006):

##### **a) Manancial**

O manancial é a fonte de onde se tira a água. Para sua escolha deve ser levada em conta a qualidade e a quantidade de água que ele dispõe, como também o aspecto econômico do mesmo. Os mananciais podem ser superficiais ou subterrâneos.

##### **b) Captação**

É o conjunto de equipamentos e instalações para retirar a água do manancial.

##### **c) Adução**

Adução é uma tubulação normalmente sem derivações, que liga a captação ao tratamento ou o tratamento à rede de distribuição.

d) Estação de Tratamento

O tratamento da água visa a adequação da água aos padrões de potabilidade. Pode existir ou não, de acordo com a qualidade d'água obtida no manancial e

e) Reservatório

A reservação é empregada para o acúmulo da água, com propósitos de regularizar vazões em função da variação do consumo, manter uma pressão mínima ou constante na rede.

f) Rede de distribuição

A rede de distribuição é o conjunto de tubulações que leva a água do reservatório ou da adutora para os pontos de consumo.

g) Ramal domiciliar

O ramal domiciliar é a ligação feita das tubulações da rede de distribuição para os consumidores.

Para elaboração dos projetos dos sistemas para abastecimento público pode-se utilizar as Normas Brasileiras da ABNT:

- ✓ NBR 12211 - Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água;
- ✓ NBR 12212 - Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea;
- ✓ NBR 12213 - Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público;
- ✓ NBR 12214 - Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público;
- ✓ NBR 12215 - Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público;
- ✓ NBR 12216 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público;
- ✓ NBR 12217 - Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público;

- ✓ NBR 12218 - Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público.

Como já exposto na introdução deste trabalho, a maior parte das perdas ocorre na distribuição de água, ou seja, em redes de distribuição e ramais prediais.

Dessa forma, nos interessa especialmente a NBR 12218 que define os principais elementos para projetos de rede de distribuição que impactam diretamente nas perdas reais de água.

Portanto, para a proposta do trabalho nos interessa bastante a setor de abastecimento e seus subsetores.

### **2.1.2 Setorização e subsetorização**

O setor de abastecimento é a unidade básica operacional de um sistema distribuidor de água que corresponde às linhas primárias e secundárias de uma determinada área.

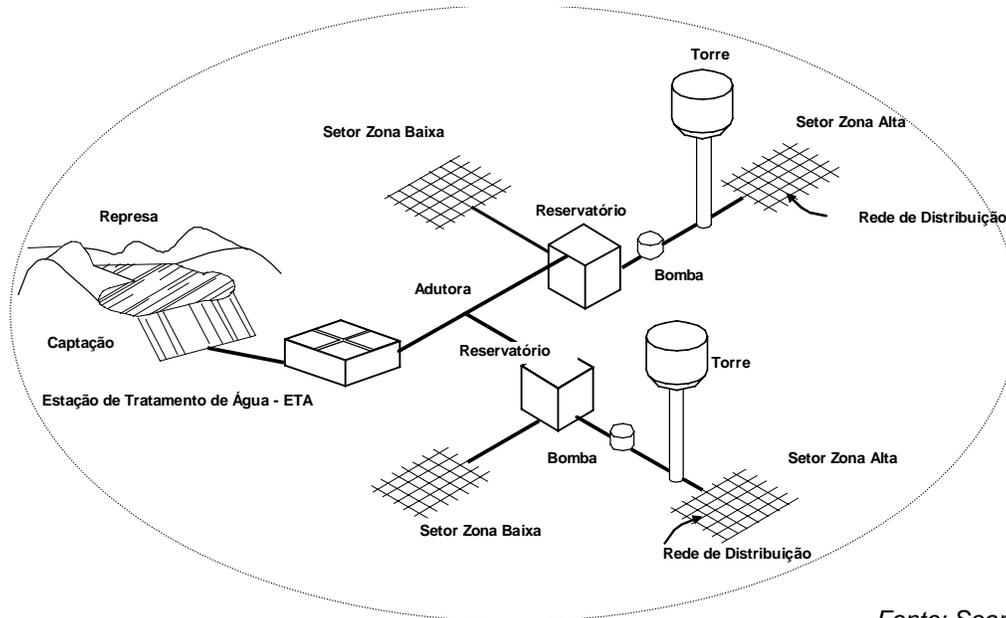
A área pode ser abastecida diretamente a partir de uma derivação de adutora ou, indiretamente, através de um reservatório setorial.

A concepção dos setores de abastecimento tem como diretriz principal a definição das zonas de influência das principais unidades que atendem o setor (reservatórios, elevatórias, boosteres etc).

Para definir um setor de abastecimento é necessário levar em conta, principalmente, as condições topográficas e o perfil dos consumidores na área a ser atendida. Definidos esses parâmetros será possível posicionar os reservatórios, dimensionar as linhas de distribuição e definir todos os acessórios necessários ao abastecimento.

A NBR 12218 estabelece que a pressão estática máxima a que as redes de distribuição podem ser submetidas é de 500kPa (~50 mH<sub>2</sub>O) e a mínima dinâmica é de 100 kPa (~10 mH<sub>2</sub>O). A partir desse limites de pressões inicia-se a concepção propriamente do setor de abastecimentos, definindo-se o posicionamento de reservatórios, limites de zona de pressão, áreas abastecidas por boosteres e áreas controladas por válvulas redutoras de pressão.

Os setores de abastecimentos podem ter uma ou mais zonas de pressão que serão determinadas conforme a configuração topográfica da área ser abastecida. A figura a seguir apresenta um setor de abastecimento típico.



Fonte: Soares, 2004

Figura 6 – Setor de Abastecimento típico

A posição do ponto de alimentação dos setores irá definir o plano piezométrico do setor, ou seja, as pressões máximas e mínimas a que o setor estará submetido, considerando-se a topografia e o consumo na área atendida.

Nos locais onde as condições de pressões máximas e mínimas não sejam satisfeitas, deve-se lançar mão de equipamentos acessórios para garantir o abastecimento satisfatório, sejam:

- ✓ Boosteres para atender os pontos mais elevados do setor, localizados acima do plano piezométrico;
- ✓ Válvulas Redutoras de Pressão para reduzir a pressão nos pontos onde estas superam os valores de pressão máxima estabelecida em normas.

Atualmente, a maioria dos sistemas de abastecimento de água está implantada. Embora as normas e a boa prática disciplinem a implantação dos setores de abastecimento, na prática os sistemas de distribuição são freqüentemente ampliados sem respeitar critérios técnicos rígidos. Em muitos centros urbanos, que experimentaram crescimento populacional acelerado, as redes de distribuição

avançam para atender às novas ocupações sem preocupação com a setorização dos sistemas de água.

Em sistemas existentes, mesmo que a implantação tenha sido precedida de um adequado projeto de engenharia, as ampliações da distribuição para atender as áreas de expansão nem sempre ocorrem de modo organizado.

As ocupações periféricas ocorrem, geralmente, nos fundos de vale e nas encostas, o que para a distribuição de água gera regiões com pressões elevadas ou com pressões insuficientes para o abastecimento, respectivamente. Essa condição hidráulica é bastante favorável à ocorrência das perdas reais de água.

Portanto, a necessidade dos sistemas públicos de abastecimento é a organização da distribuição de água em setores controlados que permitam maior eficiência e controle dos volumes de água distribuídos e ações mais eficazes de controle de perdas.

A adequação e setorização de sistemas existentes não é uma tarefa simples e às vezes envolve custos elevados. A implantação deve ser iniciada pelo isolamento de áreas, a partir das quais, por aproximações sucessivas, vai se configurando a setorização e subsetorização mais conveniente (Conejo, Lopes & Marcka, 1999).

Os projetos de setorização ou re-setorização devem buscar o equilíbrio hidráulico do sistema de distribuição de modo a se obter um sistema com pressões controladas buscando a ocorrência de perdas mínimas e mínimo dispêndio de energia elétrica para o atendimento da área coberta pelo setor de distribuição.

Para adequação de sistemas existentes é necessária a investigação de campo e monitoramento de pressões dinâmicas na distribuição. Esses dados são fundamentais para definir as ações para setorização.

Além disso, pode-se lançar mão da utilização da modelagem matemática através da utilização de programas computacionais como ferramenta para simulação hidráulica do comportamento dos setores existentes e o resultados das intervenções nos setores propostos.

### **2.1.3 Ferramentas computacionais para modelagem hidráulica**

A modelagem matemática é uma ferramenta muito útil para simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição. Os programas disponíveis no mercado introduziram uma importante melhoria para o planejamento dos sistemas de distribuição de água.

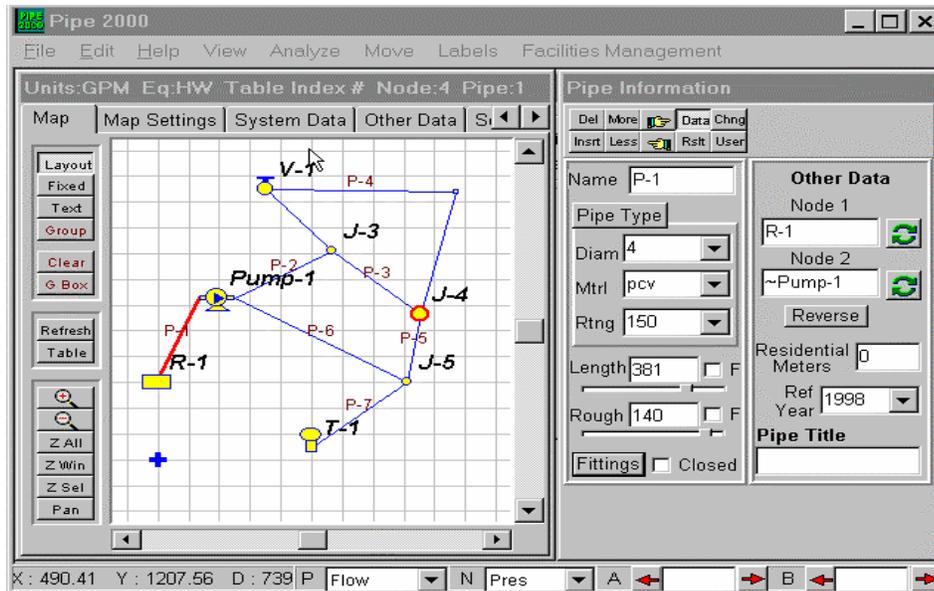
Para o controle de perdas na distribuição, a modelagem matemática pode fornecer indicações importantes de onde realizar intervenções que permitam maior eficiência operacional e redução das pressões na rede.

Através das simulações é possível identificar pontos submetidos a pressões muito elevadas e pontos onde há perdas de cargas excessivas com conseqüentes pressões baixas na distribuição.

Assim, é possível propor melhorias tais como instalação de VRPs, redes de reforços, substituição de redes, novas setorizações, mudanças de limites de setores etc.

Os programas mais utilizados possuem recursos bastante avançados de entrada de dados e permitem simulações em regime permanente ou simulações em tempo entendido. Também é possível simular o comportamento desde os reservatórios setoriais até as redes de distribuição secundárias.

Alguns dos programas possuem ferramentas de calibração do modelo com entradas de dados de uma estação remota, ou seja, pode-se alimentar o modelo com dados reais de campo que estejam sendo medidos e transmitidos. As entradas de dados também podem ser realizadas a partir de base de dados georeferenciadas ou informações gráficas de bases digitais dos cadastros da rede de distribuição. A figura a seguir apresenta um ambiente típico de entrada de dados de um programa disponível no mercado.



Fonte: Programa PIPE2000

Figura 7 – Entrada de dados para simulação hidráulica

O algoritmo de cálculo da maioria dos programas se resume na solução da matriz topológica. Aos nós da rede se associam as equações de verificação da continuidade das vazões e às malhas fechadas se verifica o balanceamento entre as cargas disponíveis, condições de contorno, definidas pelos níveis dos reservatórios, cargas acrescentadas por bombas e dissipadas nas válvulas e singularidades (Carrijo, 2001).

A calibração do modelo é fundamental para que obter a maior fidelidade do comportamento hidráulico do sistema de distribuição. Para tanto, quanto maior a confiabilidade dos dados, melhores os resultados obtidos.

Para a montagem e calibração dos modelos são necessárias as seguintes tarefas básicas para a elaboração do esquema físico do sistema, tais como:

- ✓ informações de extensão de redes, diâmetros e interligações, a partir dos dados cadastrais da rede de distribuição, verificando-se os pontos notáveis importantes;
- ✓ tipos dos materiais das redes, os valores dos coeficientes de rugosidade, as válvulas de manobras, reservatórios etc;
- ✓ o ajuste simultâneo das pressões medidas em campo, corrigindo-se os valores de rugosidade e de perdas localizadas.

As figuras a seguir apresentam os resultados típicos das simulações hidráulicas de um setor de abastecimento.

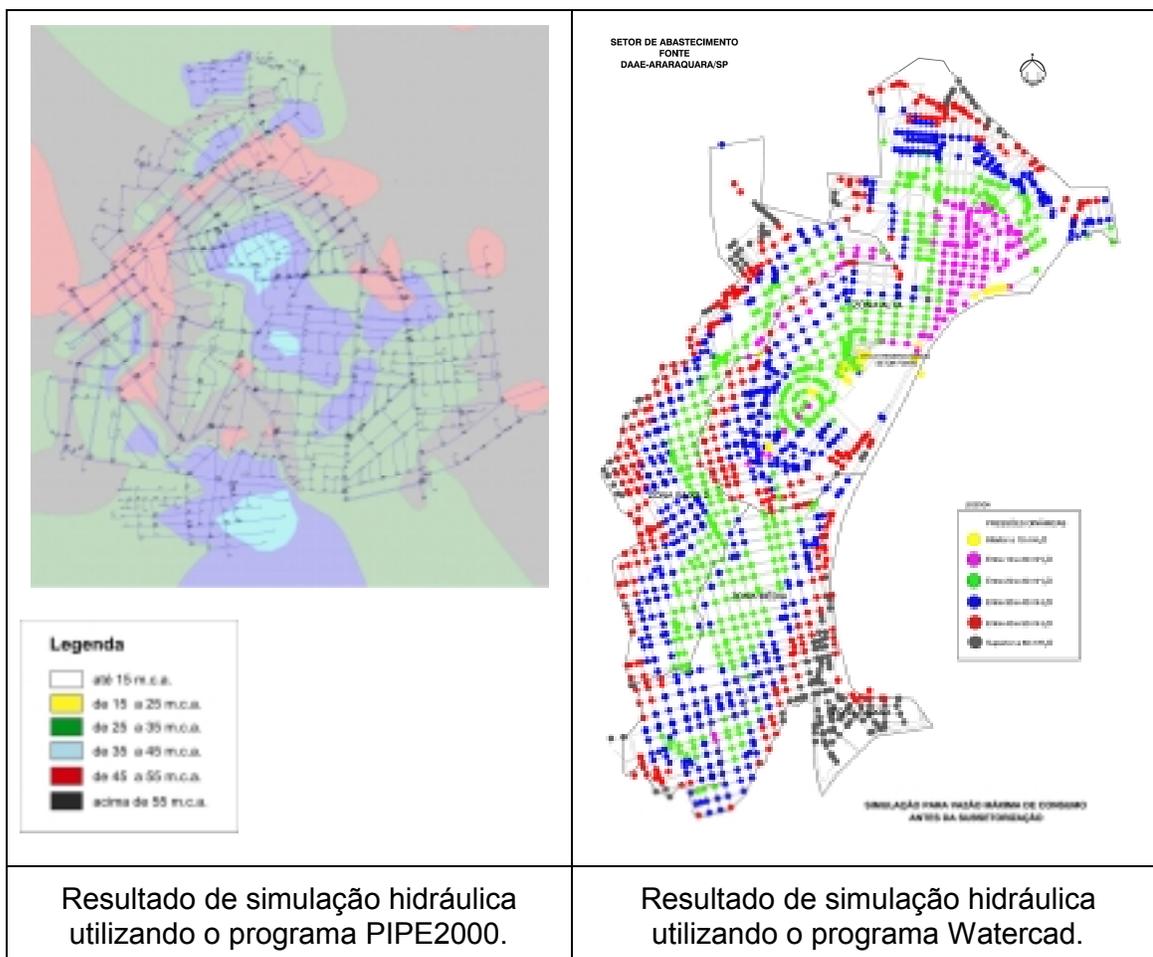


Figura 8 – Resultado de simulações hidráulicas utilizando os programas para modelagem hidráulica.

Analisando a figura 8, podemos verificar que existem pontos submetidos a pressões dinâmicas elevadas, superiores a 55 mH<sub>2</sub>O, e pontos com pressões dinâmicas baixas, inferiores a 15 mH<sub>2</sub>O.

A simulação indica áreas potenciais para ocorrência de perdas reais nos pontos onde a rede está submetida a elevadas pressões e indica pontos com deficiência de abastecimento (pressões baixas) que também podem ser decorrentes de perdas elevadas. Embora os programas disponíveis para simulação hidráulica não sejam específicos para simulação de perdas reais, estes podem fornecer elementos

importantes para identificação de potenciais áreas com ocorrências de perdas e “gargalos” na rede de distribuição.

#### **2.1.4 Distritos de Medição e Controle (DMC)**

Embora a norma (NBR 12218) faça citação a setores de manobra e setores de medição, os critérios estabelecidos são insuficientes quando o foco é o controle de perdas.

Segundo Tardelli Filho (2006), o controle e redução de pressões em áreas de grande porte são pouco eficazes pois o número de variáveis que interferem nos resultados das ações de controle não permitem a distinção clara dos resultados de cada ação.

Para controle de perdas quanto maior o conhecimento de uma determinada área, melhores os resultados e mais eficazes serão as ações de combate às perdas.

Para o controle de perdas, Farley (2001) propõem a criação dos Distritos de Medição e Controle (DMC), que no Brasil é também conhecido como Distrito Pitométrico (DP).

Os Distritos de Medição e Controle são áreas de medição e controle perfeitamente delimitada e permanentemente isolada. Um setor de abastecimento pode ser fragmentado em diversos DMCs desde que as condições da rede de distribuição ofereçam a possibilidade de fragmentação sem prejuízo ao abastecimento.

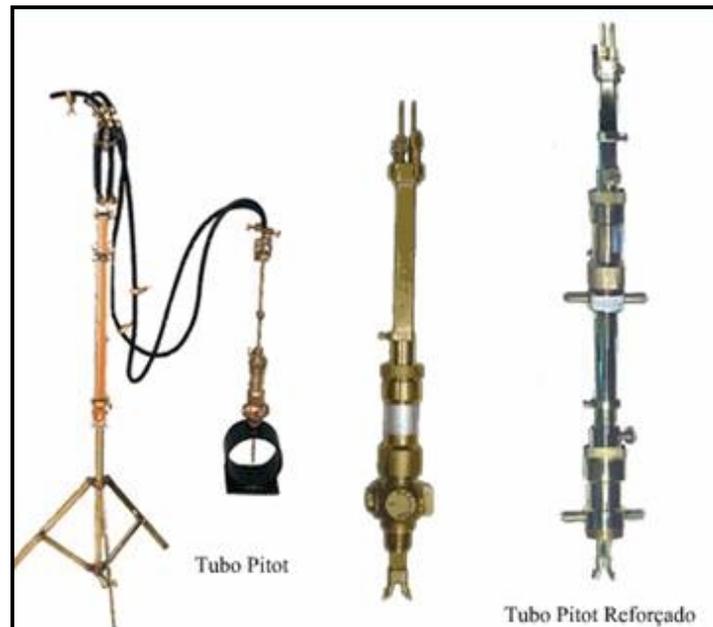
Os Distritos de Medição e Controle têm por objetivo dividir a rede de distribuição em zonas definidas e isoladas de modo que as vazões possam ser monitoradas nas entradas de cada área, permitindo identificar a ocorrência de vazamentos e arrebitamentos nas redes.

*Abre-se um parêntese para explicar a origem da nomenclatura “Distrito Pitométrico”. Embora hoje proibidos devido aos riscos à saúde, antigamente, as medições de vazão em redes de distribuição eram feitas através dos tubos de pitot. Esses equipamentos eram dotados de duas hastes conectadas a uma mangueira com fluido pitométrico (mercúrio).*

O instrumento é composto de uma haste com dois tubos metálicos em seu interior. A haste é inserida dentro da tubulação via um registro de derivação (TAP). Na extremidade dos tubos metálicos do interior da haste existem tomadas de velocidade, as quais são orientadas contra e a favor do fluxo. A pressão diferencial causa o deslocamento do líquido que é proporcional à velocidade do fluxo.

Conhecida a velocidade do fluxo em vários pontos de tomada ao longo do diâmetro interno da tubulação, era possível definir o perfil do escoamento e a conseqüentemente determinar a vazão no tubo.

As figuras a seguir ilustram o equipamento tubo de pitot e o um perfil de escoamento levantado a partir da utilização do mesmo.



Fonte: Catálogo eletrônico Mecaltec, 2009

Figura 9 – Tubos de Pitot

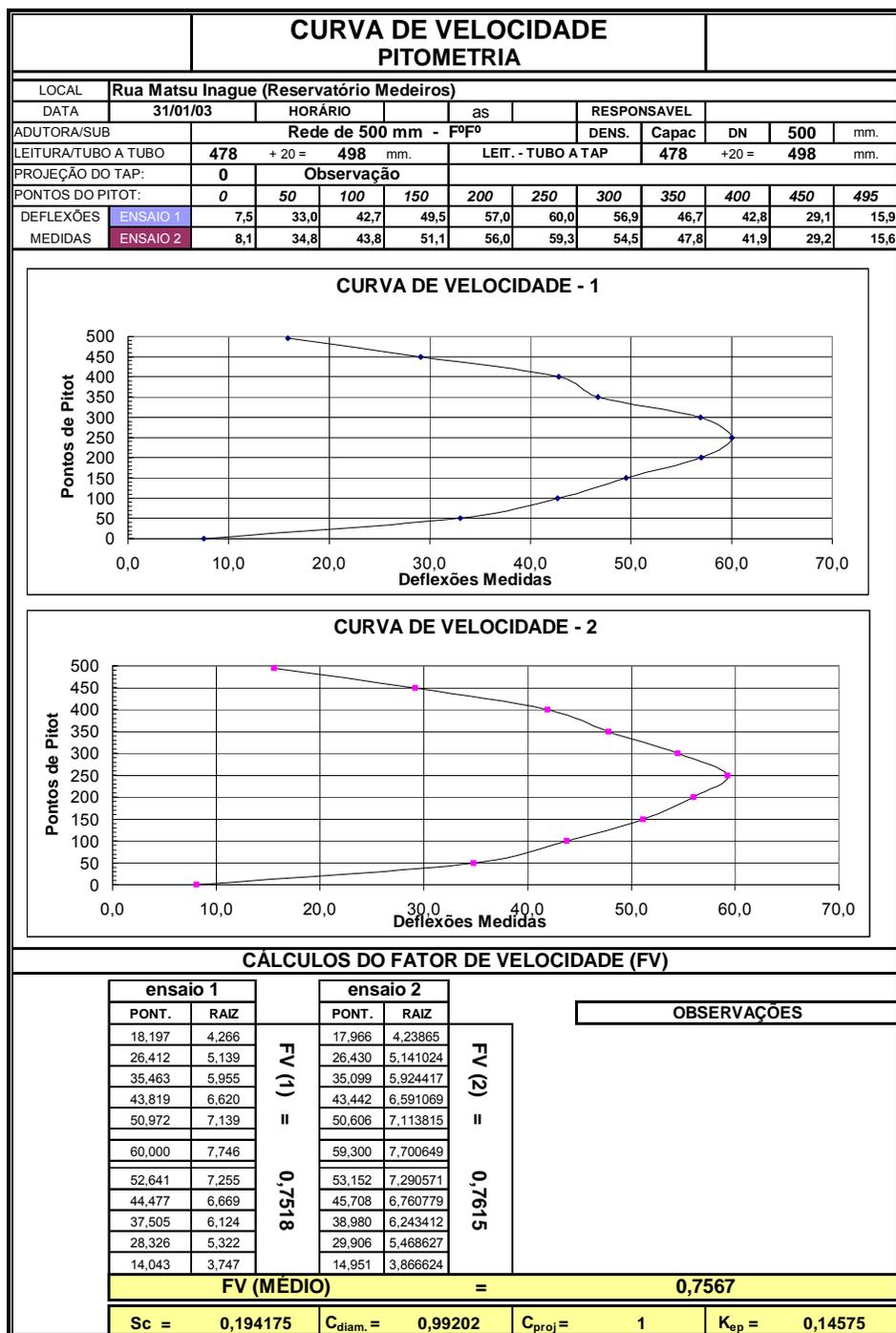


Figura 10 – Curvas de velocidade obtidas através do Tubo de Pitot

As condições de contorno para implantação dos DMCs podem variar em função das características da rede de distribuição. As condições mínimas para implantação são (Tardelli Filho, 2006):

- ✓ Tamanho médio entre 1.000 e 5.000 ligações;

- ✓ Área estanque sem fluxo entre áreas vizinhas
- ✓ Existência de ponto de medição de vazão e pressão na entrada ou entradas.

Para garantir o sucesso de um monitoramento de perdas em um Distrito Medição e Controle, é necessário garantir que ele seja perfeitamente estanque. Para isso se recomenda a realização do teste de “estanqueidade zero” (Farley, 2001).

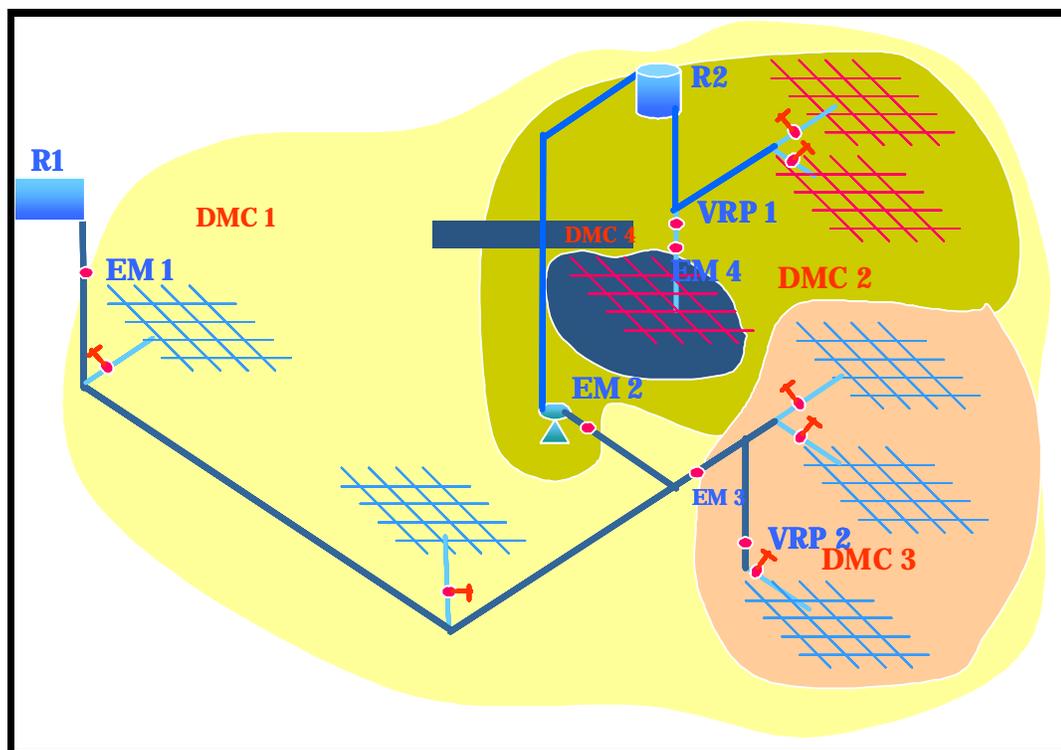
O teste consiste em fechar e identificar, marcando com tinta, quais fazem parte dos limites do DMC, permanecendo aberta(s) a(s) entrada(s) do distrito. A seguir, instalam-se medidores de pressão em pontos estratégicos da rede (próximos a limites, na entrada, nos pontos baixos e nos pontos altos da área do distrito). Em seguida fecha-se a rede de alimentação do subsetor e faz-se o monitoramento das pressões até que todas atinjam o valor “zero”.

Caso, não se consiga atingir o valor “zero” é possível que alguma passagem de água esteja ocorrendo, então se deve verificar, válvula a válvula, qual o ponto de passagem ou investigar através de medições de pressão a existência de redes não cadastradas.

Assim, parte-se para as ações corretivas (fechamento de válvula, substituição de válvulas que não vedam corretamente, instalação de novas válvulas etc) e somente após se atingir a “estanqueidade zero” é que se configura um Distrito Medição e Controle (Farley, 2001)

Áreas controladas por Válvulas Redutoras de Pressão ou por Boosters, geralmente, já configuram um DMC pois são áreas estanques e com uma entrada conhecida e associada a um medidor de vazão e pressão (Tardelli Filho, 2006).

A figura a seguir ilustra um setor de abastecimento subdividido em áreas menores, perfeitamente isoladas e com uma entrada conhecida e associada a um medidor de vazão e pressão. Na figura, os setores de controle representam os Distritos Medição e Controle e as “EMs” são os pontos de medição.



Fonte: Copasa, 2005

Figura 11 – Distritos Medição e Controle

Alguns cuidados devem ser observados quando da implantação de um Distrito Medição e Controle:

1) Quanto à qualidade da água:

A implantação de um DMC envolve a instalação de válvulas e fechamentos de outras. Esse processo implica em alterações nos fluxos das tubulações que podem aumentar ou diminuir a velocidade ou até inverter o sentido do escoamento.

Por vezes, o procedimento de isolamento de um DMC acaba fazendo com que as incrustações na rede se descolem das paredes dos tubos ou se acumulem em determinados pontos, aumentando as ocorrências de reclamações de água suja.

Uma prática recomendada é não interromper o fluxo de águas nos anéis para que não ocorra depósito de material nos finais de rede e não haja fluxos preferenciais.

A figura a seguir ilustra as situações possíveis quando implantada uma setorização.

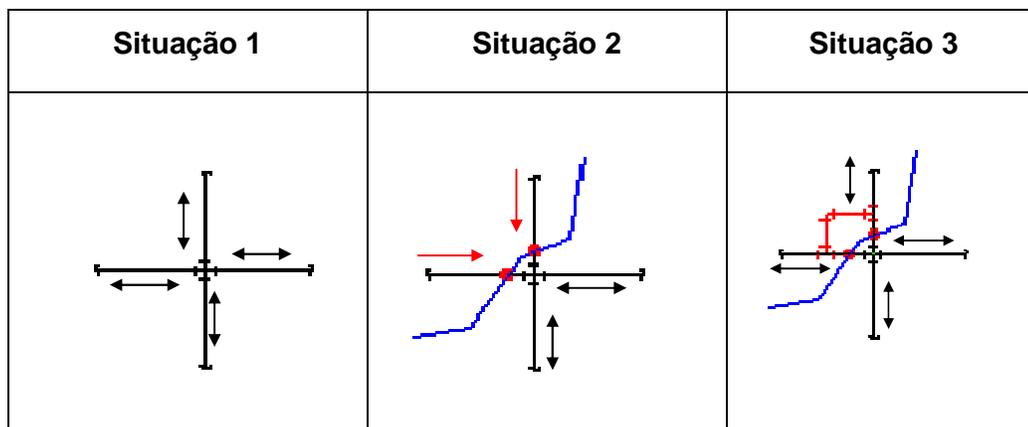


Figura 12 – Fluxos preferenciais conforme setorização

A Situação 1 representa a rede de distribuição em seu estado inicial sem setorização. Há fluxos em todas as direções.

A Situação 2 representa a rede setorizada com implantação de duas válvulas que permanecem fechadas. O fluxo é interrompido em um dos setores e pode ocasionar pontos de acúmulo de sujeira. Essa solução é usualmente empregada pelas companhias pois representa menor custo e mais facilidade de execução de obra.

A Situação 3 representa uma setorização com implantação de duas válvulas que permanecem fechadas e com by-pass de rede para restabelecer o fluxo de água.

Pode ser executada com implantação de curvas e eliminação das válvulas. Porém, pela experiência do autor, não é recomendada essa opção pois elimina definitivamente a conexão entre os setores e devido à dinâmica de comportamento é possível que seja necessário religar as redes futuramente.

## 2) Quanto à pressão de serviço

A exemplo da qualidade da água podem ocorrer prejuízos na pressão de atendimento devido à restrição do fluxo pela instalação de válvulas limítrofes ou por incrustações e obstruções nas redes não detectadas quando o setor operava aberto.

Para minimizar os impactos da setorização valem as mesmas recomendações feitas à cerca da qualidade da água.

Para ambos os casos a modelagem matemática pode antecipar alguns dos problemas e as possíveis soluções antes da implantação física em campo do setor.

Os Distritos Medição e Controle não necessitam estar permanentemente em operação. Os DMC podem operar temporariamente de acordo com as necessidades operacionais e uma programação de ensaios de campo (Tardelli Filho, 2006). Porém, é necessário que esses distritos estejam sempre aptos a serem operados, isto é, as válvulas de limite devem estar visíveis, identificadas e operando normalmente e deve haver um ponto para medição na(s) entrada(s) já instalado(s).

Enfim, pode-se afirmar que o Distrito Medição e Controle é bastante importante para o controle de perdas pois permite o monitoramento das perdas em uma escala que não é afetada por muitas variáveis tal como ocorre em áreas de maior porte.

## **2.2 PERDAS DE ÁGUA**

### **2.2.1 Histórico**

A abordagem inicial de perdas de água em sistemas de abastecimento utilizava o conceito de “Água não Contabilizada (ANC)” que relacionava o volume total produzido ao volume total faturado pelas companhias.

Acredita-se que a primeira publicação que introduziu o conceito de “Água não Contabilizada” tenha sido o relatório “Receita Produzida vs Água não Contabilizada” elaborado pela American Water Works Association – AWWA, em 1957 (AWWA, 2009)

Porém, o conceito “ANC” suscitou uma série de erros de interpretação e sua utilização apresentava bastantes inconsistências. Muitas companhias possuíam diferentes definições de água contabilizada e água não contabilizada.

Para algumas empresas, vazamentos existentes e conhecidos, porém de difícil acesso e reparo, eram computados como água contabilizada. Também eram computados vazamentos inevitáveis como água contabilizada. Isso mascarava os resultados operacionais e não permitia uma comparação de desempenho entre os sistemas de distribuição.

Além disso, não era possível uma análise crítica das perdas do sistema de abastecimento, isto é, sabia-se o quanto se perdia mas não se conhece onde se perde.

Assim, embora existissem ações para controle e redução de perdas, os resultados obtidos não podiam ser mensurados adequadamente.

A redução das perdas reais através da redução das pressões de operação da rede de distribuição é um fenômeno conhecido há muito tempo pelas companhias de saneamento e distribuição de água. Em 1980 foi publicado na Inglaterra o relatório Report nº 26 do National Water Council Standing Committee sobre Controle de Pressão que se tornou uma referência tradicional da relação entre pressão e volume de vazamento. Em 1994, o relatório “Managing Water Pressure - Report G” da WRC – Water Research Center complementou a publicação anterior e até hoje serve como referência para controle de pressões (Yoshimoto, Tardelli Filho & Sarzedas, 1999).

Apenas a partir do final da década de 1980 é que se iniciaram as tentativas de se uniformizar as terminologias e coordenar as ações de controle de perdas ao redor do mundo para que se pudessem estabelecer comparações entre os sistemas de abastecimento através de parâmetros únicos.

A AWWA publica em 1990 o manual “Water Audits and Leak Detection – Manual of Water Supply Practices – M36” que organizava os procedimentos e recomendações para contabilizar as perdas de água. Ainda nessa publicação a abrangência e as terminologias relativas às perdas de água estava limitada à detecção e reparo de vazamentos apenas (Galvão, 2007).

Em 1996 forma-se uma “força tarefa” do Comitê de Operação e Manutenção da Divisão de Distribuição da International Water Association (IWA) com o objetivo de analisar as metodologias existentes e propor um padrão único para cálculo de perdas e terminologias e indicadores.

Finalmente, em 1999, a força tarefa da IWA publica o documento chamado “Losses from Water Supply System: Standard Terminology and Recommended Performance Measures”.

A publicação desse documento foi de fundamental importância para a uniformização dos critérios para determinação de perdas, terminologias e indicadores. Salvo atualizações mais recentes, esse é o documento consagrado e utilizado atualmente em todo o mundo.

No Brasil, desde os anos 1980 se articula um programa nacional para sistematizar políticas públicas para conservação de recursos hídricos e combate ao desperdício de água.

Finalmente, após muitas tentativas de estruturação frustradas em função de conjunturas políticas, em 1997, se criou O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, na esfera federal.

A partir da criação do PNCDA foi celebrado um primeiro convênio com a Fundação para Pesquisa Ambiental – FUPAM, vinculada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo tendo como escopo a realização de estudos especializados e à organização de um conjunto de Documentos Técnicos de Apoio – DTA nas áreas de planejamento das ações de conservação, de

tecnologia dos sistemas públicos de abastecimento de água e de tecnologia dos sistemas prediais de água e esgoto.

O PNCDa foi um importante marco para o aprofundamento das discussões sobre a conservação de recursos hídricos, especialmente através do controle de perdas nos sistemas de distribuição e atualmente os DTAs servem de referência para a implementação de um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, referência em saneamento básico no país, realizou seu primeiro estudo de perdas mais abrangente em 1993 com apoio da consultoria internacional da empresa Lyonnaise des Eaux Services Associes – LYSA (Galvão, 2007)

A partir desse estudo a Sabesp passou a estabelecer e implementar programas estruturados e sistematizados para prevenção e redução de perdas de água e, a partir de 1999, passaram a ser estabelecidos Planos Plurianuais para Redução de Perdas (Siqueira *et al*, 2004).

A metodologia atual, adotada pela Sabesp para controle de perdas, segue também o padrão recomendado pela IWA.

### **2.2.2 Perdas de água em sistemas de abastecimento de água**

Para entender “Perdas” nos sistemas de abastecimento de água, é importante o entendimento que não existe “perda zero”. O combate às perdas é definido por dois limites: o Limite Técnico que é aquele possível de se chegar utilizando todas as técnicas, tecnologias disponíveis no momento. Após a utilização de todos esse recursos, o vazamento restante passa a ser considerado inevitável; e o Limite Econômico que é o nível de perdas em que o custo para recuperar um determinado volume supera o custo de produção e distribuição desse volume (Aquino, 2007).

As perdas de água nos sistemas de abastecimento são classificadas em dois tipos: perdas reais e perdas aparentes.

As perdas reais correspondem ao volume de água perdido nos vazamentos de adutoras, redes de distribuição, ramais prediais e extravasamento de reservatórios. Essas perdas, antigamente denominadas de perdas físicas, são propriamente as perdas do “produto água”.

As perdas aparentes referem-se aos volumes consumidos mas não contabilizados pela companhia de saneamento e decorrem de fraudes, erros de medição, ligações clandestinas. As perdas aparentes também são conhecidas como perdas comerciais (Tardelli, 2006). As perdas aparentes têm caráter empresarial e envolvem aspectos administrativos e sociais.

Para este trabalho nos interessa especialmente a abordagem das perdas reais que podem ser entendidas conforme sua origem e magnitude. O quadro a seguir apresenta um resumo por unidade do sistema de distribuição, sua origem e sua magnitude.

**Quadro 3 – Origem e magnitude das Perdas de Água**

|                   | <b>Local</b>         | <b>Origem</b>                         | <b>Magnitude</b>   |
|-------------------|----------------------|---------------------------------------|--|
| <b>Perda Real</b> | Adução de Água Bruta | Vazamentos na tubulação               | Variável, função do estado de conservação e procedimentos operacionais                   |
|                   |                      | Limpezas (volumes além do necessário) |  |
|                   | Tratamento           | Vazamentos nas estruturas             | Significativa, função do estado de conservação e procedimentos operacionais <sup>1</sup> |
|                   |                      | Lavagem de filtros                    |  |
|                   |                      | Descarga de lodo                      |  |
|                   | Reservação           | Vazamentos nas estruturas             | Variável, função do estado de conservação e procedimentos operacionais                   |
|                   |                      | Extravasamento                        |  |
|                   |                      | Limpezas (volumes além do necessário) |  |

<sup>1</sup> Para muitos autores, os volumes utilizados no processo de tratamento de água são considerados usos operacionais que não devem ser contabilizados como perdas de água.

**Quadro 4 – Origem e magnitude das Perdas de Água (continuação)**

|                   |                        |                                       |  |
|-------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| <b>Perda Real</b> | Adução de Água Tratada | Vazamentos na tubulação               | Variável, função do estado de conservação e procedimentos operacionais |
|                   |                        | Descargas                             |  |
|                   |                        | Limpezas (volumes além do necessário) |  |
|                   | Distribuição           | Vazamentos na rede                    | Significativa, função do estado de conservação e das pressões          |
|                   |                        | Vazamentos nos ramais                 |  |
|                   |                        | Descargas                             |  |

Fonte: modificado de Marcka, 2004

Para contabilizar as perdas de água a metodologia IWA propõe duas abordagens: o “balanço hídrico” (*top-down*) e a utilização da vazão mínima noturna (*bottom-up*). (Lambert & Thornton, 2002).

A matriz de balanço hídrico consiste em partir do volume total corrigido disponibilizado para a distribuição, descontar os volumes dos usos conhecidos e chegar aos volumes perdidos.

Essa metodologia tem uma aplicação mais recomendada para análises macroscópicas das perdas e é aplicável, principalmente, para setores de abastecimento de grande porte ou conjunto de setores de abastecimentos.

A entrada de dados na matriz é bastante sensível à qualidade dos dados apurados. Defasagens sazonais podem afetar a totalização dos volumes, por isso é necessário que todos os volumes sejam apurados em um mesmo período de tempo.

Geralmente, os dados de micromedição (medição de hidrômetros) são apurados com defasagens de até quinze dias dentro de um mesmo setor de abastecimento. A incompatibilidade entre os setores comerciais e os setores técnicos pode gerar diferenças significativas entre volumes totalizados. Dessa forma, é prudente que as apurações sejam anuais para que sejam minimizadas as diferenças sazonais.

|                  |                      |                                    |   |                     |
|------------------|----------------------|------------------------------------|---|---------------------|
| Volume Produzido | Consumos Autorizados | Consumos Autorizados Faturados     | Consumos medidos faturados  | Águas Faturadas     |
|                  |                      |                                    | Consumos não-medidos faturados (estimados)  |                     |
|                  |                      | Consumos Autorizados Não Faturados | Consumos medidos não-faturados (usos próprios, caminhão-pipa etc)                 | Águas Não-Faturadas |
|                  |                      |                                    | Consumos não-medidos, não-faturados (corpo de bombeiros, favelas etc)             |                     |
|                  | Perdas de Água       | Perdas Aparentes                   | Consumos não-autorizados (fraudes e falhas de cadastro)                           |                     |
|                  |                      |                                    | Imprecisão dos medidores (hidrômetros)  |                     |
|                  |                      | Perdas Reais                       | <b>Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição</b>                         |                     |
|                  |                      |                                    | <b>Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro</b>                            |                     |
|                  |                      |                                    | <b>Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição</b> |                     |
|                  |                      |                                    |   |                     |

Fonte: IWA / BLUE PAGES, 2000

Figura 13 – Matriz do balanço hídrico.

Cumprir considerar que não se deve confundir “água não-faturada” com “perda”. Existe uma parcela de consumo que é autorizado e não representa faturamento para a empresa. Especialmente os volumes disponibilizados para usos sociais (favelas) representam uma grande parcela de água não faturada.

Outro método para determinação de perdas que se aplica somente às perdas reais é a utilização da vazão mínima noturna (VMN). A vazão mínima noturna fornece uma medida bastante aproximada da vazão dos vazamentos.

A metodologia da utilização da VMN envolve uma série de ensaios de campo e fornece uma medida bastante realista das perdas reais de água em uma determinada área de estudo (Distrito de Medição e Controle).

A vazão noturna está intimamente ligada às pressões na rede de distribuição. Portanto, a abordagem do método da VMN para cálculo das perdas reais será apresentada a seguir no item 2.2.5, deste trabalho.

### **2.2.3 Ações de Combate e Controle de Perdas Reais**

São diversas as ações para combate e controle de perdas. Algumas delas não são propriamente de caráter técnico e não são consideradas “ações de perdas” propriamente, porém sem elas não é possível se iniciar nem um trabalho consistente. São ações preliminares ao controle e combate às perdas:

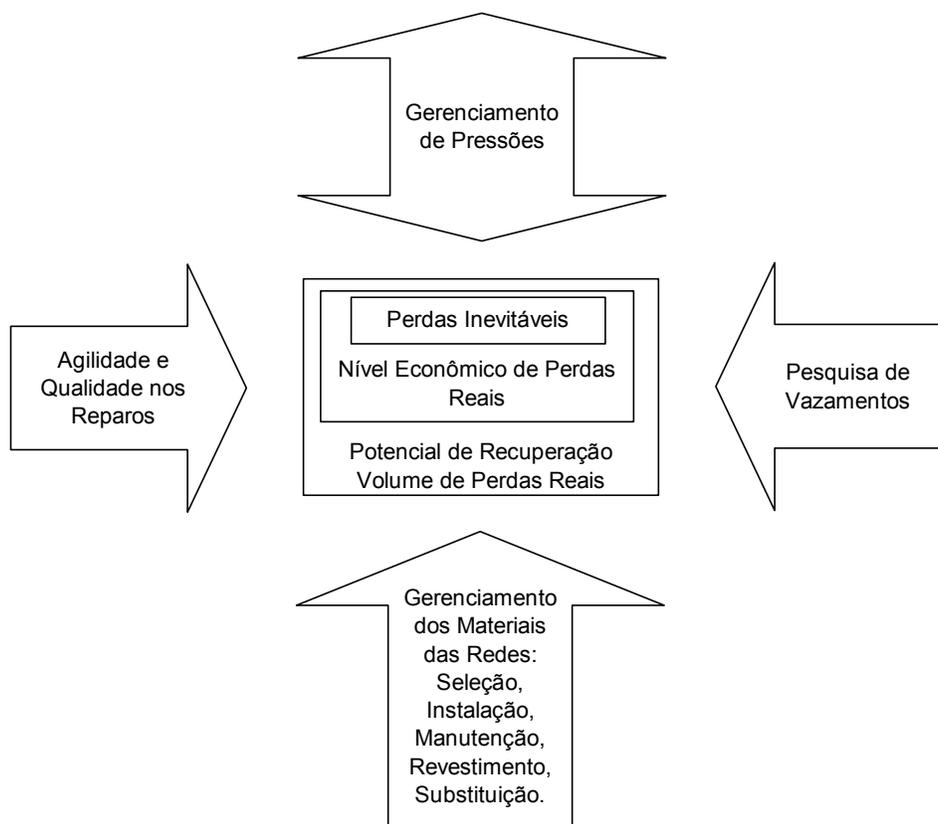
- ✓ Manter o cadastro técnico atualizado, digitalizado e georreferenciado - é necessário haver uma fonte de informações sobre a infra-estrutura existente, com um sistema que permita atualizações rápidas e registrar qualquer alteração, manutenção ou nova obra na rede de distribuição;
- ✓ Setorização – sem o conhecimento do cadastro técnico não é possível se pensar numa divisão adequada dos setores de abastecimento e de suas zonas de pressão. Conhecidas as características do sistema de distribuição devem ser implantados setores de abastecimento perfeitamente estanques, mesmo que sejam necessárias obras de adequação. Não se pode admitir setorização sem isolamento total. A setorização pode incluir a implantação de subsetores tais como: DMCs, áreas sobre controle de VRPs e microzonas de manobra.
- ✓ Macromedição – definidos e isolados os setores e subsetores, devem ser conhecidos os volumes disponibilizados, no mínimo, para cada zona de pressão. O desejável é conhecer os volumes em todos os subsetores. Isso será possível através da instalação de macromedidores nas linhas de alimentação principais de cada setor e subsetor.
- ✓ Cadastro comercial – definidos e implantados fisicamente os setores e subsetores e definidos os pontos para instalação de macromedidores, deve-se compatibilizar o cadastro comercial com o cadastro técnico. Isto é, devem ser

definidas rotas de leituras dos hidrômetros compatíveis com os períodos de macromedição para diminuir o efeito da defasagem e da sazonalidade.

Essas ações são fundamentais para início do controle de perdas. Elas representam o conhecimento do sistema e sem elas não é possível serem iniciados programas preventivos ou corretivos de controle de perdas e tampouco mensurar seus efeitos.

Sendo que a maior parte dos volumes perdidos ocorrem na distribuição de água, as principais ações também ocorrem na distribuição.

Thornton (2002) apresenta a “cruz de perdas reais”, reproduzida a seguir, para visualização das ações de controle das perdas e o nível desejável a se atingir.



Fonte: Adaptado de Thornton, 2002

Figura 14 – Cruz de Perdas Reais

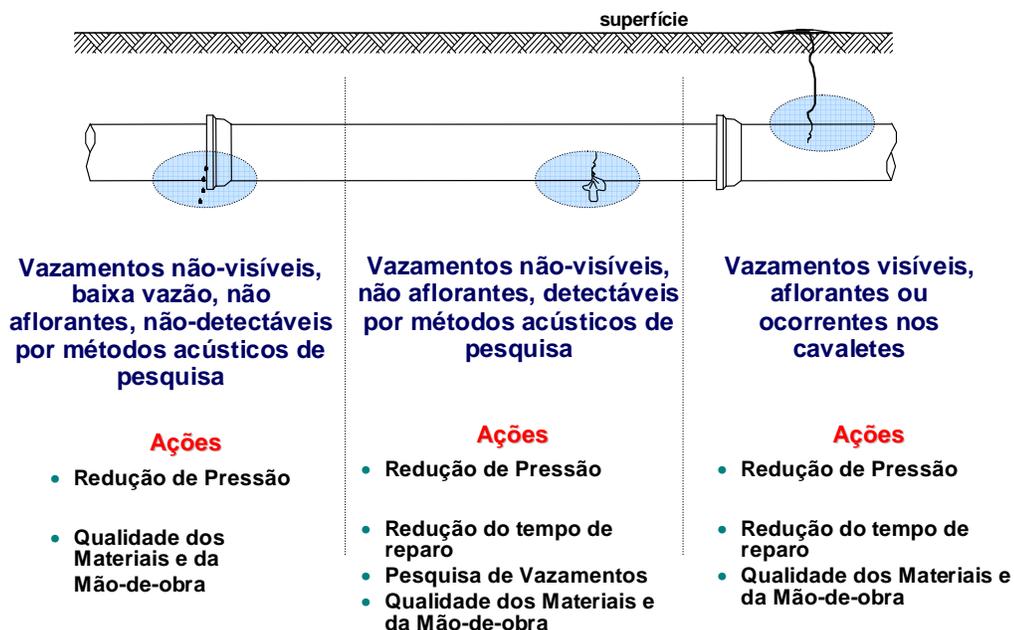
A interpretação da “cruz de perdas” é bastante simples: o retângulo representa o volume de perdas físicas de um sistema de distribuição que permanece constante pela combinação das quatro atividades de controle.

Se intensificadas as ações de controle de perdas, o volume perdido tende a atingir seu ponto de viabilidade econômica, ou seja, o retângulo maior se iguala ao retângulo “nível econômico de perdas” e, a partir desse ponto, não é mais interessante economicamente aumentar os recursos investidos. Salvo interesses econômicos, mantidas as ações intensivas, pode se buscar atingir o limite das perdas inevitáveis, a partir desse ponto não é mais possível reduzir perdas com as técnicas e tecnologias existentes atualmente. Vale reforçar que não existe perda zero.

Por outro lado, se há um relaxamento de uma das atividades de controle, as dimensões do retângulo (perdas reais) tendem a aumentar (Thornton, 2002).

Para o controle de Perdas Reais, as ações residem no gerenciamento de pressão; controle ativo de vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos, e gerenciamento da infra-estrutura.

Tardelli Filho (2006) apresenta a figura a seguir que indica os pontos de ocorrência de perdas reais na distribuição e as principais ações de combate.



Fonte: Tardelli Filho, 2006

Figura 15 – Ações de Controle e redução de perdas reais

O gerenciamento de pressões consiste em manter as pressões do sistema em níveis mínimos possíveis, durante a maior parte do tempo e sem prejuízo ao serviço para os consumidores. O controle e redução das pressões são atingidos pelo correto projeto de setorização dos sistemas de distribuição, pelo controle de bombeamentos diretos através de instalação de inversores de frequência nas estações elevatórias e boosteres ou ainda pela implantação de válvulas redutoras de pressão.

O controle ativo de vazamentos consiste em pesquisar, localizar e reparar um vazamento antes que ele se torne visível. A pesquisa de vazamentos não visíveis é realizada através da escuta dos vazamentos por geofones ou correlacionadores. Essa atividade reduz o tempo de vazamento, portanto quanto maior a frequência da pesquisa, maior será a vazão recuperada. A frequência da pesquisa é definida após a análise de custo-benefício entre o custo da pesquisa e o custo do volume de água perdido.

A qualidade da mão de obra e dos materiais utilizados nos reparos de vazamentos também é fundamental para evitar que haja reincidência de vazamentos.

Enfim, os resultados de um programa de redução de perdas de água e a perpetuação dos mesmos, dependem diretamente da manutenção das ações de combate ao longo do tempo (Tardelli Filho, 2006).

#### **2.2.4 Relação Pressão na Distribuição vs Vazão de Vazamento**

Como já exposto, as perdas reais nos sistemas de abastecimento são bastante significativas e a principal causa dessas perdas são os vazamentos que ocorrem na distribuição de água que por sua vez está intimamente ligados à pressão a que o sistema está submetido.

A pressão de serviço é o principal ator na que define a vazão dos vazamentos e as frequências com que eles ocorrem.

Admitindo que os vazamentos são orifícios na rede de distribuição, a aplicação da hidráulica de escoamento em orifícios leva ao entendimento de que a vazão ( $Q$ ) é proporcional à área do orifício ( $S$ ), ao coeficiente de descarga ( $C_d$ ) e à raiz quadrada da carga piezométrica multiplicada pela aceleração da gravidade ( $g$ ):

$$Q = C_d \times S \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

*Equação 1*

Essa relação quadrática entre vazão e pressão seria válida para vazamentos caso os orifícios não variassem de tamanho com a variação da pressão. Sabe-se porém, que os orifícios causados por corrosões variam de tamanho em função da pressão a que estão submetidos e ainda variam em função do material das tubulações (Lambert & Thornton, 2002).

Para solucionar esse problema, May (1994) introduziu o modelo hidráulico “*Fixed and Variable Area Discharge Paths – FAVAD*” com o conceito referente à área de descarga fixa ou variável. A equação simplificada obtida, que relaciona a vazão dos vazamentos com a pressão é:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{N1}$$

*Equação 2*

Onde:

$Q_0$  = Vazão inicial à pressão  $p_0$ ;

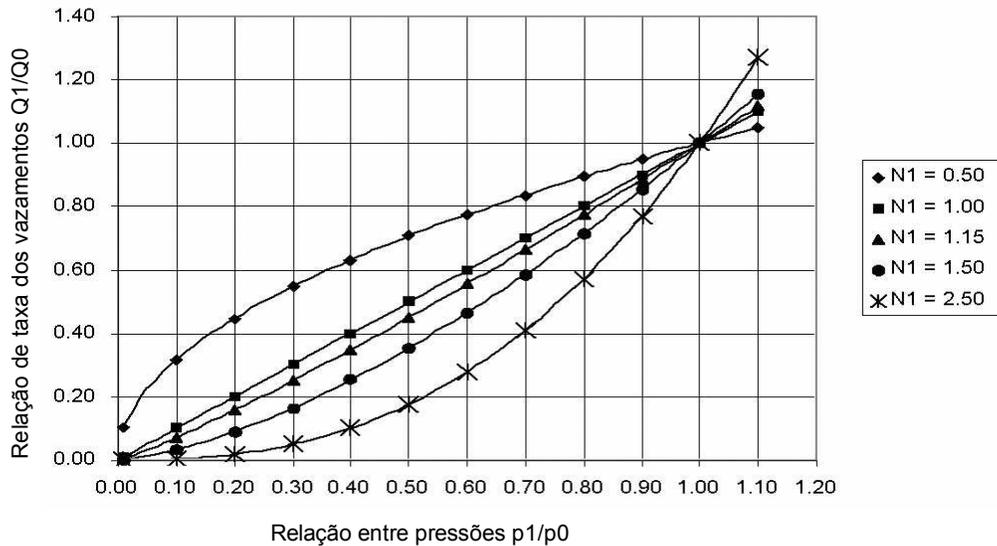
$Q_1$  = Vazão final à pressão  $p_1$ ;

$N1$  = expoente que depende das características dos materiais das tubulações.

Os valores de  $N1$  são bastante variáveis. Após diversos testes realizados obtiveram-se valores de  $N1$  variando entre 0,5 e 2,5 (Lambert & Thornton, 2002). Nesses estudos internacionais notou-se que os valores de  $N1$  variam de acordo com as características dos materiais da rede de distribuição e ramais e de acordo com o tipo de ocorrência. Ensaios realizados em diversos países estimam:

- ✓ Para sistemas com tubulações unicamente metálicas,  $N1$  é aproximadamente 0,5;
- ✓ Para sistemas com preponderância de tubulações de plástico,  $N1$  varia entre 1,5 e 2,5;
- ✓ Para sistemas com vários tipos de materiais,  $N1$  é aproximadamente 1,0.

A figura a seguir apresenta os resultados obtidos para  $N1$ , variando vazões e pressões.



Fonte: Thornton, 2003

Figura 16 – Fator  $N_1$  - Relação Vazão x Pressão

O conhecimento desta relação permite estabelecer estimativas entre uma situação atual e uma situação posterior a uma ação de controle de pressões. Dessa forma, é possível elaborar o estudo de viabilidade para implantação de um sistema de controle de pressões (área controlada por VRP)

De forma simplificada pode-se dizer que, um setor submetido a uma pressão  $p_0$  possui uma vazão noturna  $Q_0$ , reduzindo-se a pressão nesse setor para  $p_1$ , obtém-se uma redução proporcional da vazão para  $Q_1$  e  $Q_1 < Q_0$ . Essa diferença pode justificar a implantação de uma zona de VRP.

### 2.2.5 Vazão mínima noturna

Como já exposto, a vazão mínima noturna está diretamente ligada à pressão da rede de distribuição.

No momento da ocorrência da VMN, o consumo é próximo a zero e a vazão medida corresponde a uma parcela significativa da vazão dos vazamentos (perdas reais) (Tardelli Filho, 2006).

Os componentes principais da VMN referem-se ao consumo legítimo noturno dentro da área de estudo e aos vazamentos que ocorrem antes dos hidrômetros. A figura a seguir apresenta uma matriz com as componentes da VMN.

|                             |                              |   |   | Afetado pela pressão |
|-----------------------------|------------------------------|---|---|----------------------|
| Vazão Mínima Noturna Medida | Vazão Noturna dos Vazamentos | Vazamentos não Visíveis Detectáveis     | Rede  | SIM                  |
|                             |                              |   | Ramais  |                      |
|                             |                              | Vazamentos não Visíveis não Detectáveis | Rede  | SIM                  |
|                             |                              |   | Ramais  |                      |
|                             | Consumo Noturno              | Vazamentos após o Hidrômetro            | Do hidrômetro até a Caixa d'água, inclusive         | SIM                  |
|                             |                              |   | Bóia da Caixa d'água                                | SIM                  |
|                             |                              |   | Encanamentos internos às economias residenciais     | NÃO                  |
|                             |                              |   | Encanamentos internos às economias não-residenciais | NÃO                  |
|                             |                              | Consumo Noturno Normal                  | Residencial   | NÃO                  |
|                             |                              |   | Não-Residencial                                     | NÃO                  |
|                             |                              | Consumo Noturno Excepcional             | Residencial   | SIM                  |
|                             |                              |   | Não-Residencial                                     | SIM                  |

Fonte: Lambert & Thornton, 2002

Figura 17 – Componentes da Vazão Mínima Noturna.

Um cuidado a ser observado é que a vazão mínima noturna é medida no momento em que ocorre a pressão máxima no sistema e representa a vazão máxima de vazamentos. Ocorre que ao longo do dia devido ao consumo as pressões na distribuição diminuem e as vazões de vazamento também diminuem. Portanto, extrapolar a VMN para as 24 horas do dia superestima os valores de perdas. Para corrigir esse valor é necessário multiplicar o valor da VMN por um fator de redução que é denominado “Fator Noite/Dia – FND” (Lambert & Thornton, 2002).

Dessa forma, pode-se exprimir a vazão de perdas através da seguinte equação:

$$Q_{\text{PERDAS}} = (Q_{\text{MIN NOT}} - Q_L) \times \text{FND} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$Q_{\text{PERDAS}}$  = Vazão Média das Perdas Reais Diárias, em m<sup>3</sup>/dia;

$Q_{\text{MIN NOT}}$  = Vazão Mínima Noturna Média do Período Amostrado, em m<sup>3</sup>/hora;

$Q_L$  = Vazão de Usos ou Consumos Legítimos Médios no horário da mínima noturna, em m<sup>3</sup>/hora;

FND = Fator de Correção, ou Fator Noite Dia, que depende das pressões médias do setor e do parâmetro N1, em horas/dia.

O cálculo do FND é dado pela seguinte expressão:

$$\text{FND} = \sum \left( \frac{\text{PPMS}_i}{\text{PMNS}_{3-4}} \right)^{N1} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$\text{PPMS}_i$  = Pressão Média Horária no Setor, durante o período de dias de amostragem, da hora “i” do dia;

$\text{PMNS}_{3-4}$  = Pressão Noturna Média no Setor, obtida no horário entre 3:00 e 4:00 horas, correspondendo à pressão média de todos os dias no horário da vazão mínima noturna.

Há locais em que as vazões mínimas noturnas não ocorrem entre 3:00h e 4:00h, portanto nestes casos deve-se conhecer o perfil de consumo da área em estudo para que o levantamento das pressões seja feito exatamente no horário da VMN.

O valor de FND é expresso em [h/dia]. Embora o dia possua 24 horas esse valor pode ser menor ou maior que 24horas/dia. Em setores onde não existe o controle das pressões da rede, as pressões durante a madrugada são maiores que as pressões diurnas, devido ao menor consumo nesse período. Nesse caso, o valor de FND é inferior a 24 horas/dia. Já para setores providos de controle de pressões noturnas por válvulas de controle (VRPs), as pressões durante a madrugada são sensivelmente menores que as pressões diurnas. Com isso, as perdas por vazamento durante o dia podem superar as perdas noturnas. Nesses casos, o valor de FND pode resultar superior a 24h/dia (Vieira & Carozzi, 2005).

As medições de pressão para determinação do FND devem representar sempre a média de pressões na área em estudo.

A PMNS de um setor ou um Distrito Pitométrico ideais com topografia plana e uma disposição eqüitativa de consumidores, equivale à média da pressão mais baixa e da mais alta, na ocasião da mínima vazão noturna.

Para os testes de campo, é recomendado que sejam realizadas uma série de medições a fim de definir o ponto que melhor representa a média de pressões no setor. A escolha deve levar em consideração a topografia, assim como a distribuição dos consumidores. Assim, a pressão média pode ser estimada por:

$$\mathbf{PMS = S \times p_{m\acute{a}x} + (1 - S) \times p_{m\acute{i}n}} \quad \textit{Equação 5}$$

Onde:

- ✓ PMS = pressão média do setor [kPa]
- ✓ S = Percentual estimativo da proporção do setor em estudo (em número de ligações ou área) que possui pressões acima da pressão média horária;
- ✓  $p_{m\acute{a}x}$  = pressão noturna máxima na área de estudo [kPa];
- ✓  $p_{m\acute{i}n}$  = pressão noturna mínima na área de estudo [kPa].

Conhecidas a VMN total e determinado o valor FND, resta a determinação do consumo noturno legítimo ( $Q_L$ ). Dado a dificuldade em se obter o consumo legítimo, geralmente se utilizam valores padrões de consumo para os usos residenciais e não residenciais. Em alguns casos, é possível se medir o uso noturno não-residencial monitorando os hidrômetros dos consumidores.

A Sabesp, após realização de experimentos em um distrito pitométrico da capital de São Paulo obteve, índices-padrão para  $Q_L$  que foram comparados com índices utilizados na Inglaterra. O Quadro a seguir, reproduzida de Yashimoto, Tardelli Filho & Sarzedas (1999), mostra os valores típicos da Inglaterra e os recomendados para utilização na RMSP.

Quadro 5 – Valores típicos para consumo noturno

| <b>Consumo Noturno</b>      | <b>Padrão na Inglaterra</b> | <b>Valor obtido no DMC da RMSP</b> | <b>Valor recomendado para RMSP</b> |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Perdas após a caixa d' água | 0,50 L/econ./h              | 0,425 L/econ./h                    | 0,425 L/econ./h                    |
| Uso noturno residencial     | 0,60 L/hab./h               | 0,10 L/hab./h                      | 0,10 L/hab./h                      |
| Uso noturno não residencial | 8,0 L/ñ res./h              | 0,6 L/ñ res./h                     |                                    |

A diferença encontrada entre os dois índices de consumo noturno é explicada pelo fato dos hábitos noturnos e a ocupação urbana na Inglaterra serem bastante diferentes dos brasileiros. Portanto, usar valores tabelados pode induzir a erros muito grandes. O recomendável é sempre fazer uma investigação de campo para medição de todos os parâmetros possíveis.

De posse dos dados de medição da VMN total, descontados os consumos legítimos e aplicando o valor de FND, obtém-se o valor das perdas reais totais ( $Q_{PERDAS}$ ) na área de estudo.

Não obstante, dentro da parcela de perdas reais totais, existem duas parcelas a serem consideradas que são as perdas reais inerentes e as perdas reais inevitáveis.

#### *2.2.5.1 Perdas Reais Inerente e Perdas Reais Inevitáveis*

As perdas inerentes são as perdas advindas de vazamentos pequenos nas tubulações, em geral, nas juntas e conexões e que não podem ser detectadas pelos métodos acústicos disponíveis (Lambert, 1999).

As perdas inerentes são calculadas a partir de valores de referência da IWA (2000) que foram definidos a partir de medições em sistemas com boas condições de infra-

estrutura a 50 mH<sub>2</sub>O de carga piezométrica. Os valores de vazamentos típicos obtidos nos estudos são: para redes, 20L/km/h e; para ramais, 1,25L/ligação/h.

A equação que define o valor da perda inerente é dada por:

$$V_i = \left( \frac{20 \times 24}{1000} \right) \times L \times \left( \frac{p}{50} \right)^{N1} + \left( \frac{1,25 \times 24}{1000} \right) \times N \times \left( \frac{p}{50} \right)^{N1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- ✓  $V_i$  = volume de perda inerente em [m<sup>3</sup>/dia];
- ✓  $p$  = carga piezométrica na área de estudo em [mH<sub>2</sub>O];
- ✓  $L$  = extensão da rede na área em [km];
- ✓  $N$  = número de ligações em [ligações];
- ✓  $N1$  = 1,5 adotado para vazamentos inerentes (Tardelli Filho, 2006).

As perdas reais inevitáveis são as perdas que ocorrem no espaço de tempo entre o conhecimento da existência de um vazamento e seu efetivo reparo. As perdas inevitáveis possuem também valores de referência estabelecidos após estudos da IWA. Os valores de referência são: para rede, 18L/dia/km/mH<sub>2</sub>O e; para ramais, 0,8L/dia/ramal/mH<sub>2</sub>O (Lambert, 1999).

A equação que define o valor das perdas inevitáveis é dada por:

$$PRAI = \left( \frac{18 \times L + 0,8 \times N}{1000} \right) \times p \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- ✓ PRAI = Perda Real Inevitável [m<sup>3</sup>/dia];
- ✓  $p$  = carga piezométrica média de operação na área de estudo em [mH<sub>2</sub>O];
- ✓  $L$  = extensão da rede na área em [km];
- ✓  $N$  = número de ligações em [ligações];

Enfim, o volume recuperado de perdas que se deseja buscar é o volume total de perdas reais ( $Q_{\text{PERDAS}}$ ) subtraído dos volumes de perdas inerentes ( $V_i$ ) e inevitáveis (PRAI).

Das equações 3, 6 e 7, feitas as devidas conversões de unidades, podemos dizer que o volume de perdas reais recuperável (VPRR) é dado por:

$$\mathbf{VPRR = Q_{\text{PERDAS}} - V_i - \text{PRAI}}$$

*Equação 8*

A recuperação desse volume pode ser alcançada, principalmente, com o controle de pressões nas redes que pode se dar através da instalação de válvulas redutoras de pressão ou de projetos de setorização para regularizar as pressões de distribuição.

## 2.3 VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO

As válvulas redutoras de pressão (VRPs) são largamente empregadas para o controle de pressões nas redes de distribuição e conseqüentemente a redução das perdas reais de água.

As VRPs são dispositivos mecânicos instalados em determinados pontos da rede de distribuição com objetivo de gerar uma perda de carga localizada e controlada de tal sorte a reduzir as pressões nas redes à jusante do seu ponto de instalação.

Sua instalação pressupõe a delimitação de um subsetor perfeitamente isolado através de registros limítrofes, configurando também um distrito de medição e controle (DMC).

Muitas vezes são necessárias obras complementares para viabilizar a instalação da VRP tais como prolongamentos e interligações de rede e esse custo deve ser incluído na análise de viabilidade de implantação.

Em projetos de novos setores de abastecimento é possível determinar perfeitamente, através da utilização de programas de modelagem matemática, as áreas com potencial para implantação de áreas controladas por VRP, bem como simular a operação da válvula e antever a viabilidade ou não da implantação do subsetor.

As áreas com potencial para implantação de subsetores controlados por VRPs estão localizadas em setores de abastecimento existentes e a instalação da válvula é bastante dificultada em função das variáveis existentes e, muitas vezes, desconhecidas. Nestes casos, apenas após vários testes de campo é possível configurar um subsetor e avaliar a viabilidade da instalação da VRP.

O que determina o potencial de instalação de um subsetor controlado por VRP é a pressão dinâmica no ponto mais crítico (PC) de abastecimento que é o ponto de menor pressão dentro da área determinada. Intuitivamente, os pontos críticos localizam-se nas cotas mais altas, nos pontos mais distantes da entrada ou onde esse dois fatores estão combinados. Pressões nos PCs acima de 30 mH<sub>2</sub>O indicam potencial para o controle de pressão (Yashimoto, Tardelli Filho & Sarzedas, 1999).

As simulações hidráulicas fornecem uma boa aproximação de onde procurar por pontos críticos. Entretanto, algumas condições particulares tais como, redes não

cadastradas, registros de manobras internos ao setor fechados, vazamentos e fraudes, podem modificar a posição do PC. Assim, de fato o PC só pode ser determinado através da investigação de campo.

Realizadas as análises preliminares em uma área com potencial para controle de pressões, efetua-se o isolamento do setor e o teste de “estanqueidade zero” (descrito no item 2.1.4 - Distritos de Medição e Controle). Concluído o teste de estanqueidade, devem ser realizadas medições de vazão e pressão na entrada do subsetor e de pressão no(s) ponto(s) crítico(s).

Essas medições de vazão e pressão são fundamentais para a confirmação da viabilidade da instalação da VRP e para o dimensionamento do conjunto a ser instalado.

### **2.3.1 Dimensionamento e Instalação de VRPs**

As válvulas redutoras de pressão são instaladas, geralmente, em um by-pass da rede principal e sua montagem ainda contempla a instalação de um filtro, um medidor de vazões e válvulas de bloqueio a montante e a jusante da montagem para isolamento total do conjunto.

Embora os conjuntos sejam instalados em redes de água potável, não é rara a ocorrência de materiais provenientes de descolamento de incrustações nas tubulações, pedras, materiais plásticos entre outros, passando pelas tubulações. A função do filtro instalado à montante do conjunto é a de impedir que esse material danifique a VRP e o medidor de vazão que são equipamentos sensíveis.

O medidor de vazão instalado no conjunto de montagem tem a função não só de totalizar volumes e fornecer subsídios quanto aos volumes economizados, mas também, quando conectado a equipamentos de controle, passam a controlar a própria VRP, modulando sua abertura e fechamento em função das necessidades de consumo da área (Farley, 2001).

As figuras a seguir apresentam montagens típicas de conjuntos para redução de pressão.

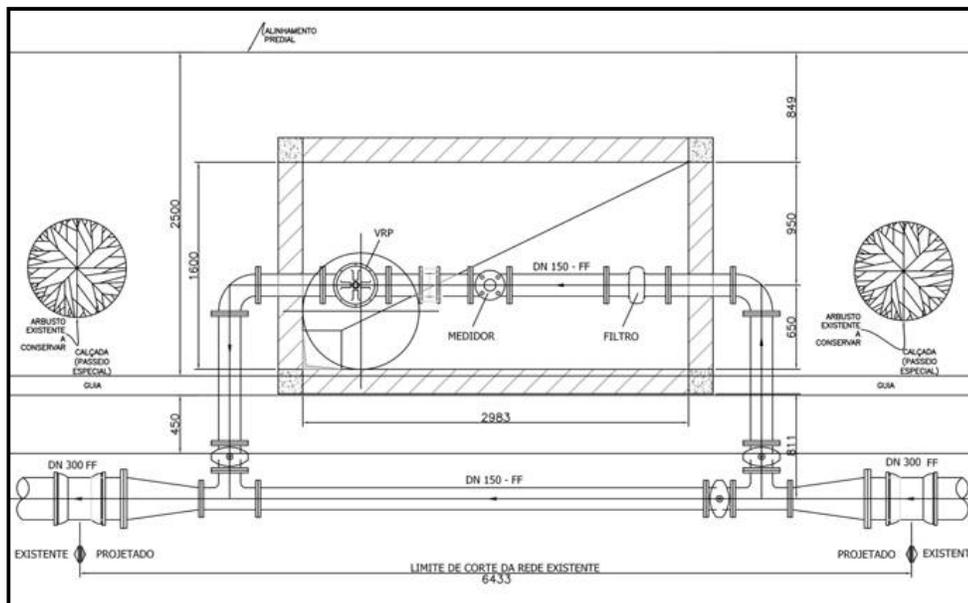


Figura 18 – Montagem típica de conjunto para VRP.



Figura 19 – Obra de implantação de subsetor controlado por VRP.

Para a escolha dos equipamentos a serem instalados são dados necessários: vazões máximas e mínimas; pressões de trabalho; pressões de regulação e as condicionantes operacionais do subsetor.

Os corretos dimensionamento e instalação de uma válvula redutora de pressão são fundamentais para o desempenho dos equipamentos e obtenção dos resultados esperados no controle de perdas. O mau dimensionamento pode ocasionar instabilidade na válvula causando faltas de água, pressões elevadas indesejadas e cavitação.

O subdimensionamento acarretará em perda de carga excessiva no conjunto causando pressões negativas à jusante da válvula; falta de água em pontos do subsetor; cavitação por excesso de velocidade do fluxo; e impossibilidade de regulação da válvula.

Por outro lado, o superdimensionamento acarreta em excesso de pressão a jusante da válvula; abertura e fechamento constante da válvula, gerando golpes de aríete intermitentes; danificação do diafragma e demais componentes internos da válvula; e impossibilidade de regulação da válvula.

As válvulas redutoras de pressão possuem limitações quanto às vazões máximas e mínimas e quanto às pressões de montante e de regulação. Se os diferenciais de vazão e pressão são extremos deve-se utilizar instalações de válvulas em série ou em paralelo.

Em situações onde os valores das vazões máxima e mínima não possam ser controlados por uma única válvula, podem-se utilizar válvulas de tamanhos distintos e que operem com diferentes regulações.

Em locais em que a redução de pressão deverá ser muito drástica o uso de uma única válvula implica que esta trabalhe em zona de cavitação, nestes casos devem ser implantadas válvulas em série com quebras de pressão parciais em cada uma (Gonçalves & Lima, 2005).

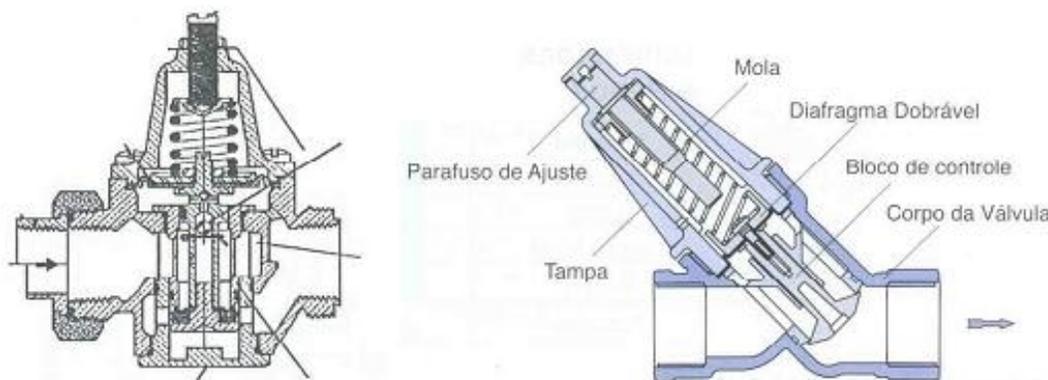
### **2.3.2 Tipos de Válvulas Redutoras de Pressão**

No mercado estão disponíveis alguns tipos de válvulas que são classificadas conforme sua ação, formato do corpo e quanto ao tipo de atuador (Gonçalves & Lima, 2005).

As válvulas redutoras de pressão podem ser de ação direta ou indireta. As VRPs de ação direta possuem mecanismos obturadores que atuam diretamente no fluxo causando a perda de carga responsável pela redução de pressões à jusante do fluxo.

As válvulas de ação direta foram utilizadas em sistemas públicos a partir da década de 1970. Nesta época a tecnologia de VRPs não era suficientemente desenvolvida no Brasil e eram utilizados modelos adaptados e de pouca eficiência. A partir da década de 1990, novas válvulas começaram a surgir no mercado e passaram a substituir as de ação direta por VRPs com diafragmas acionados hidráulicamente, aproveitando a pressão na rede à montante para atuação nos obturadores (Freitas *et al*, 2007).

Hoje em dia nos sistemas de abastecimento público são empregadas apenas válvulas de ação indireta que são válvulas acionamento hidráulico através de circuitos de pilotagem. As válvulas de ação direta têm aplicações industriais ou prediais. A figura a seguir ilustra válvulas de ação direta.



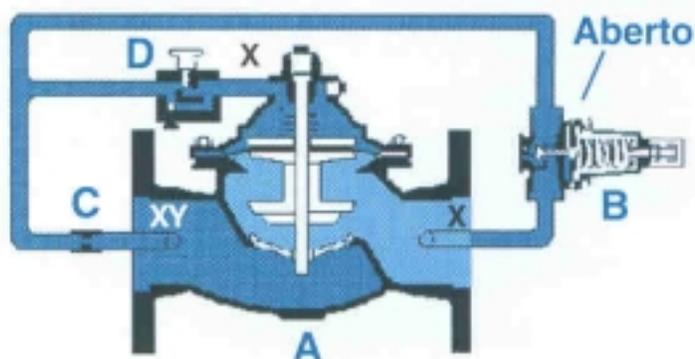
Fonte: Gonçalves & Lima, 2005.

Figura 20 – Válvulas Redutoras de Pressão de ação direta

As válvulas de ação indireta (A), ilustrada a seguir, possuem um circuito com tomadas a montante e a jusante do diafragma. Nos circuitos estão instalados:

- ✓ Um filtro (Y) para evitar passagem de partículas que obstruem o circuito;
- ✓ Uma válvula agulha (D) que é responsável por regular a velocidade do fluxo no interior do circuito;

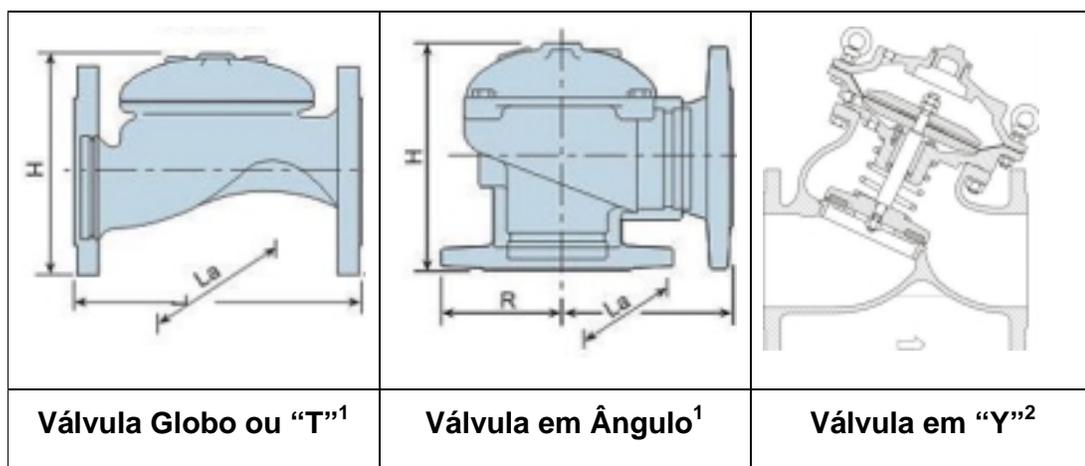
- ✓ Uma válvula piloto (B) que é responsável pelo acionamento e regulação da válvula. Se a válvula piloto está aberta, a pressão no circuito é igual a montante e a jusante e não há pressão sob a membrana do diafragma, neste caso a válvula abre. Se a válvula piloto está fechada, a pressão hidráulica exerce pressão sob a membrana e a válvula fecha;
- ✓ Duas válvulas de fechamento do circuito (X); e
- ✓ Um orifício fixo (C) para estabilizar o fluxo no circuito.



Fonte: Catálogo do Fabricante Watts.

Figura 21 – Válvulas Redutoras de Pressão de Ação Indireta

As válvulas também são classificadas conforme o formato de seu corpo. As válvulas mais largamente empregadas em redes de distribuição são as válvulas tipo globo e tipo Y.

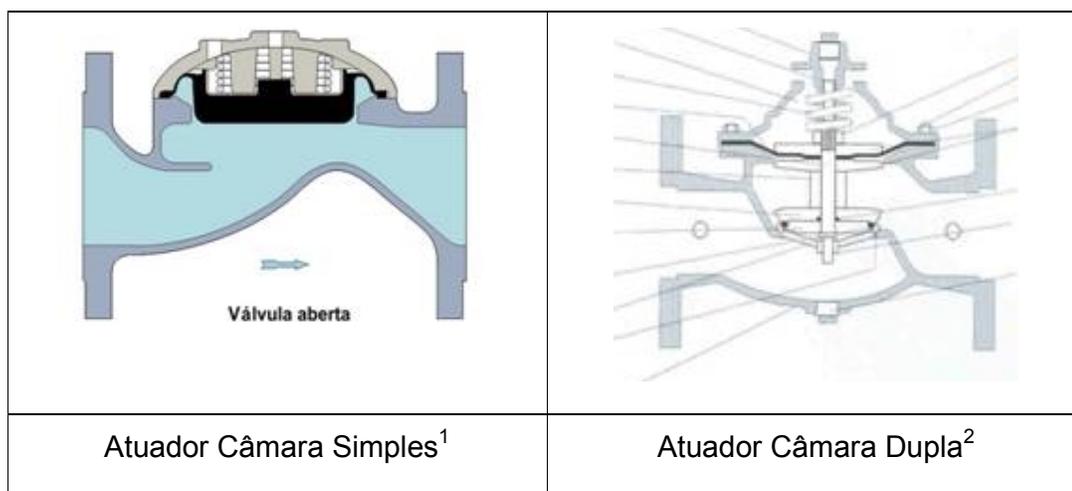


Fonte: Catálogos dos Fabricantes <sup>1</sup>Bermad e <sup>2</sup>Valloy.

Figura 22 – Válvulas Redutoras de Pressão, tipo de corpo

Gonçalves & Lima (2005) ainda classificam as válvulas conforme o tipo de atuador que podem ser de câmara simples ou de câmara dupla.

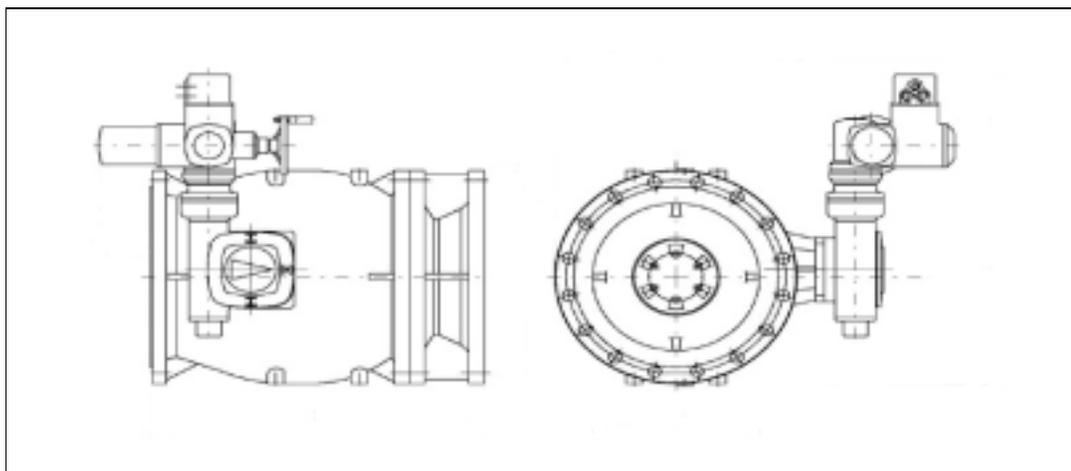
Nos atuadores de câmara simples, o diafragma tem contato tanto com a água do circuito de pilotagem quanto com a água que entra no sistema de distribuição. Nos de câmara dupla o atuador é isolado e tem contato apenas com a água do sistema de pilotagem (Rodrigues, 1998). A figura a seguir apresenta os dois tipos de atuadores.



Fonte: Catálogos dos Fabricantes <sup>1</sup>Bernad e <sup>2</sup>Watts.

Figura 23 – Atuador Câmara Simples e Dupla

Existe uma nova geração de válvulas no mercado que são bastante diferentes das válvulas tradicionalmente utilizadas em saneamento para controle de perdas. São as válvulas de fluxo anular representadas na figura a seguir.



Fonte: Catálogo do Fabricante Saint Gobain.

Figura 24 – Válvula de fluxo anular

Diferentemente das válvulas tradicionais com obturadores perpendiculares ao fluxo acionados hidráulicamente, essas válvulas possuem um sistema obturador paralelo ao sentido de fluxo, semelhante a um pistão. Esse formato da válvula permite que o fluxo de água em seu interior seja mais estável facilitando o ajuste fino não obtido em válvulas do tipo diafragma (Oppinger, 2009).

A válvula permite o acionamento elétrico e automação. Associados a Controladores Lógicos Programáveis (CLP), os atuadores ajustam de forma eletrônica a abertura e o fechamento da válvula permitindo um ajuste bastante refinado e em tempo real em função das condições hidráulicas (demandas) no sistema de distribuição. Por isso, são conhecidas também como “válvulas inteligentes”.

Embora seja uma tecnologia que pode vir a representar o futuro do controle de perdas, atualmente sua aplicação esbarra em dificuldades técnicas e econômicas.

A viabilidade da utilização dessa válvula está intimamente ligada ao nível de controle que ela promove, do contrário uma válvula de menor custo e menor nível de automação cumpre o papel de controlar perdas com a mesma eficiência e com um custo significativamente menor. Daí advém as restrições econômicas para sua implantação que não só estão relacionadas ao custo dos equipamentos, mas também aos custos de operação de um sistema de controle telemetrizado e aos custos de manutenção dos sistemas elétricos e eletrônicos dos acionadores da válvula.

As dificuldades técnicas residem no fato de que para instalação da válvula são necessários pontos de energia e/ou telefonia nos locais de instalação e que as instalações estejam abrigadas.

Essa condição é raramente satisfeita para instalações ao longo da rede de distribuição. Na distribuição as válvulas devem estar em abrigos subterrâneos o que dificulta a interligação à rede elétrica (e telefônica, quando é o caso). O fato de o abrigo ser subterrâneo ainda oferece uma condição desfavorável aos equipamentos eletrônicos que é a possibilidade de inundação da caixa e a alta umidade. Mesmo um alto grau de proteção não resiste a uma condição adversa permanente.

As instalações ao longo da rede ainda estão sujeitas ao vandalismo e ao furto de cabos elétricos.

Portanto, embora representem uma evolução bastante interessante para o mercado de válvula, as válvulas de fluxo anular ainda precisam vencer alguns obstáculos técnicos e econômicos para conquistarem seu espaço no controle de perdas.

### 2.3.3 Regulação e Operação das VRPs

O que determina o perfil de regulação de uma VRP são as pressões existentes nos pontos mais críticos da distribuição (pontos de menor pressão dentro da área de atuação da válvula) e as pressões e vazões de entrada do subsetor da VRP.

A figura a seguir apresenta esquematicamente as condições de contorno que determinam a regulação de uma VRP em função do ponto crítico (PC).

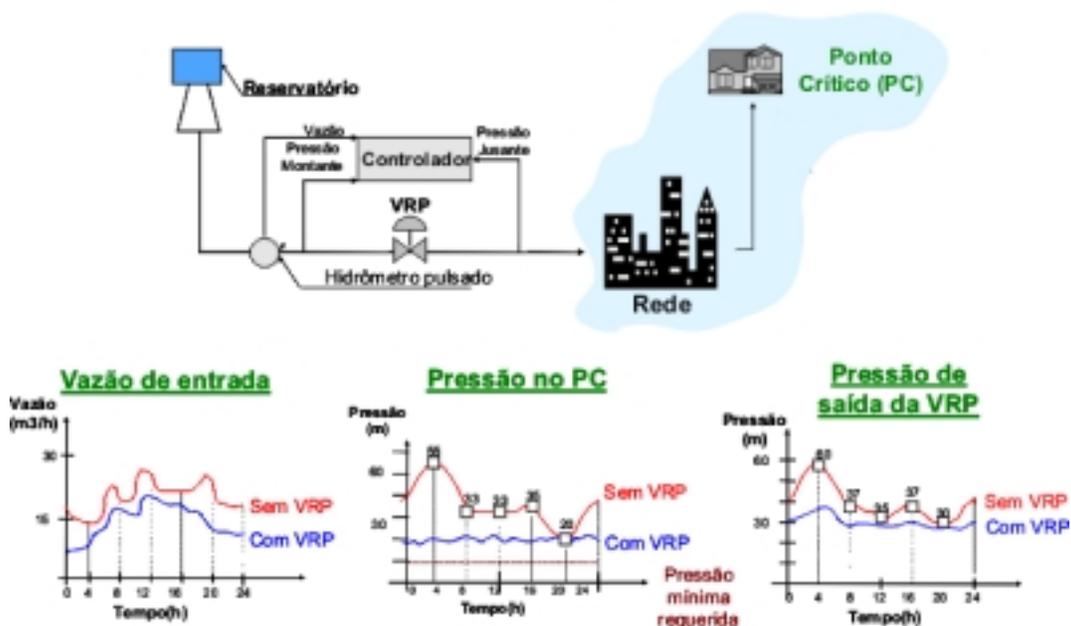


Figura 25 – Condições de contorno para regulação da VRP

O estudo das vazões e pressões atuantes no subsetor irá definir o ajuste da pressão de saída da válvula e as quebras de pressão ( $\Delta P$ ) máximas e mínimas possíveis, bem como o tipo de operação mais adequado, sejam operadas com pressão fixa na saída ou operadas com pressões moduladas em função do tempo ou em função da demanda.

A decisão pela instalação de controladores junto a VRP requer uma análise do benefício adicional do ajuste mais refinado das pressões em relação ao custo do equipamento. O que define esse ganho adicional são as flutuações de demandas e a importância da área no computo global da redução de perdas.

Para se obter um melhor resultado e um controle de pressões mais refinado deve-se utilizar um controlador junto a essa VRP com a função de modular a pressão de jusante em função do consumo. Esta modulação pode ser através de horário ou, de uma forma mais precisa, por vazão de consumo (Denapoli *et al*, 2001).

A regulagem para pressão de saída fixa não utiliza controladores juntos à válvula. Neste caso, determina-se a pressão desejada para abastecimento satisfatório do ponto crítico e regula-se a abertura da válvula de forma que a pressão de jusante seja constante independentemente das condições de vazão ou de pressão de montante.

O controle com modulação por tempo faz a válvula operar em patamares em função de horários pré-definidos. Nos horários de maior consumo, o controlador aciona a abertura da VRP que opera com pressões de jusante maiores para atender à demanda. Nos horários de menor consumo, o controlador aciona o fechamento da válvula que passa a operar com pressões mais baixas à jusante.

O controle por vazão, que é o ajuste mais fino possível, permite que para cada ponto de vazão de consumo se opere com uma pressão de jusante satisfatória para atender à demanda. Neste caso, o controlador é conectado ao medidor de vazão junto a válvula e transforma os pulsos do hidrômetro em sinais para abrir e fechar a válvula. Dessa forma, a válvula permanece em operação o tempo todo e não oferece ao sistema mais pressão do que a necessária para o abastecimento.

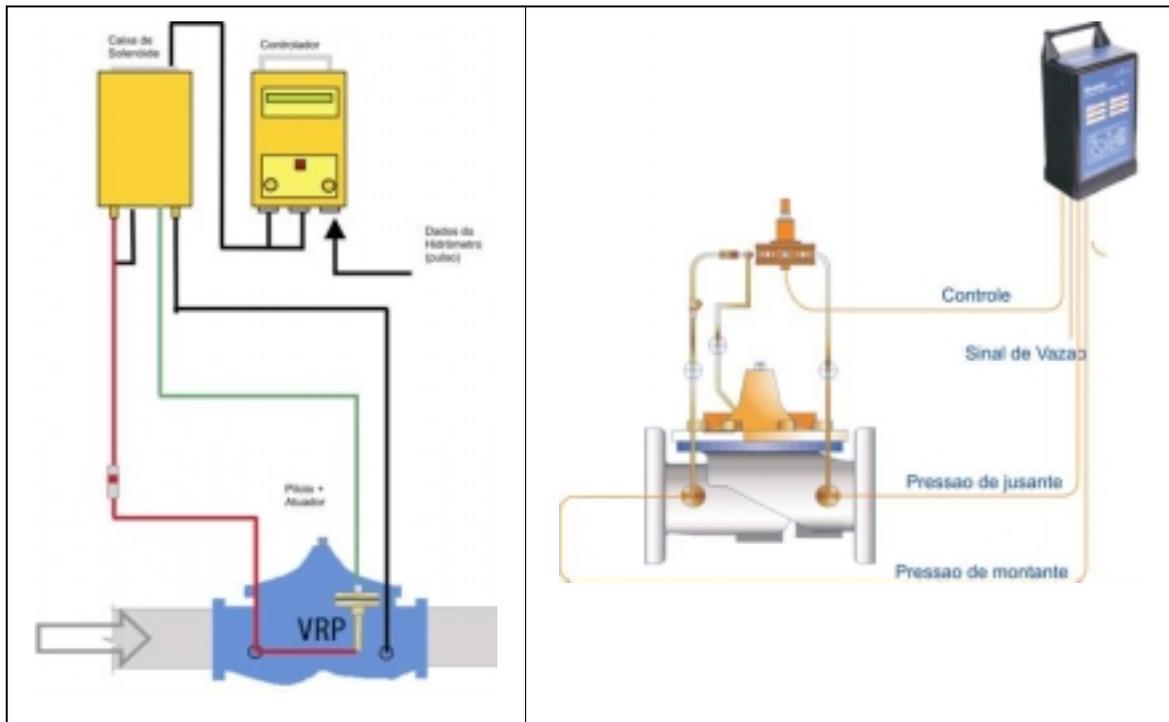
O controlador é um equipamento eletrônico capaz de controlar uma VRP através de parâmetros de tempo (horário) ou vazão e armazenar os dados de vazão, pressão de montante e pressão de jusante da válvula.

O controlador é instalado no circuito hidráulico da VRP com tomadas à jusante e a montante da válvula e uma conexão à válvula piloto. Para o controle por vazão há ainda uma conexão à saída pulsada do hidrômetro.

As pressões tomadas à montante e jusante na VRP são transformadas em pulsos e um dispositivo (“booster” ou válvula solenóide) dentro do controlador interpreta

esses pulsos e transmite hidráulicamente um comando para o circuito de pilotagem abrir ou fechar conforme a necessidade.

A figura a seguir ilustra esquematicamente como é feita a instalação de controladores.



Fonte: Adaptados dos Catálogos dos Fabricantes Technolog e Palmer Environmental

Figura 26 – Instalações típicas de controladores eletrônicos

Em linhas gerais, os critérios para se definir o tipo de controle seguem as seguintes premissas (Yashimoto, Tardelli Filho & Sarzedas, 1999):

- a) Para VRP com pressão de saída fixa (VRP sem controlador):
  - ✓ Subsetores de pequeno porte;
  - ✓ Subsetores sem variações significativas de demanda;
  - ✓ Subsetores onde as perdas de carga nas redes de distribuição são pequenas (inferiores a 10 mH<sub>2</sub>O, sob quaisquer condições de operação).
- b) Modulação por tempo utilizando controlador:
  - ✓ Subsetores de médio à grande porte;

- ✓ Subsetores com grande perda de carga (superior a 10 mH<sub>2</sub>O) e perfil regular de consumo.
- c) Modulação por vazão utilizando controlador:
- ✓ Subsetores de grande porte;
  - ✓ Subsetores com grande perda de carga e mudanças no perfil de consumo, que podem ser no tipo de uso, na sazonalidade ou na população (como no caso de cidades turísticas).

Na seqüência são apresentados histogramas típicos de setores sem controle de pressão e com controle de pressões com VRP com saída fixa, modulação por tempo e modulação por vazão.

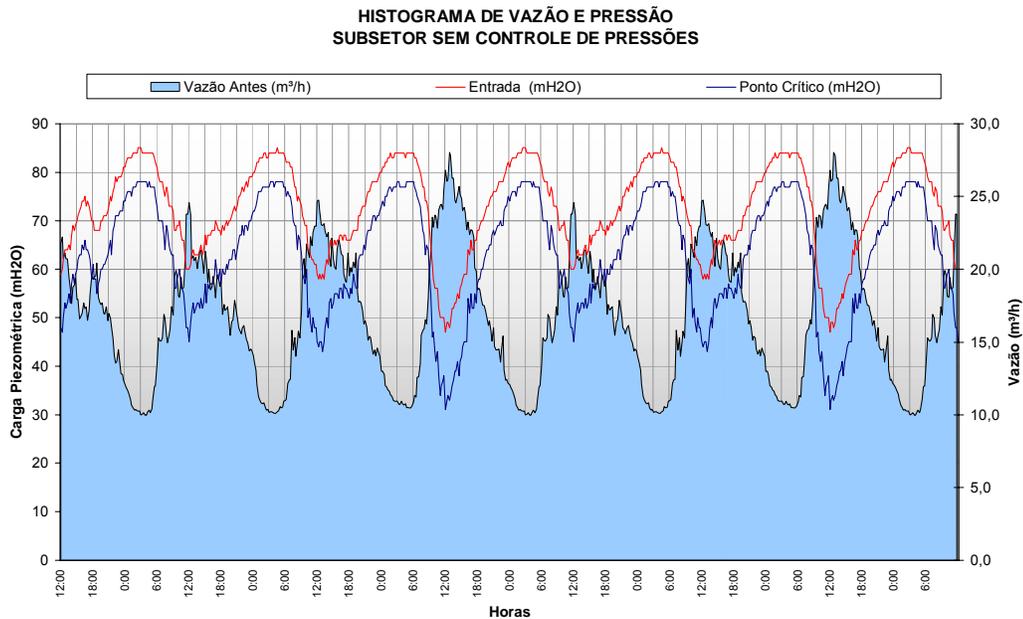


Figura 27 – Histograma de Vazão e Pressão - Subsetor sem controle de pressões

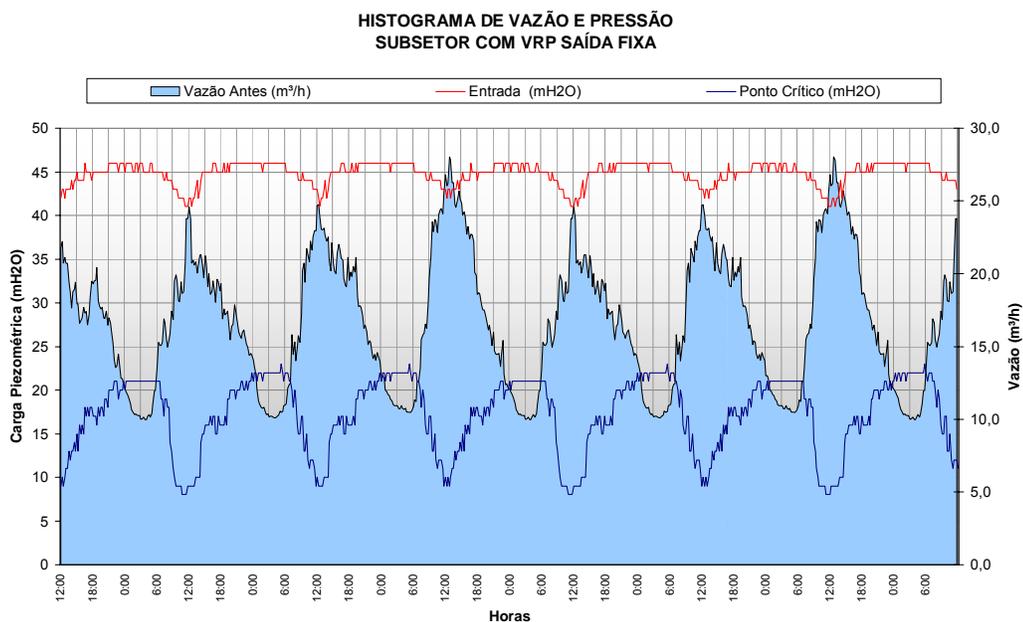


Figura 28 – Histograma de Vazão e Pressão – Subsetor de VRP com saída Fixa

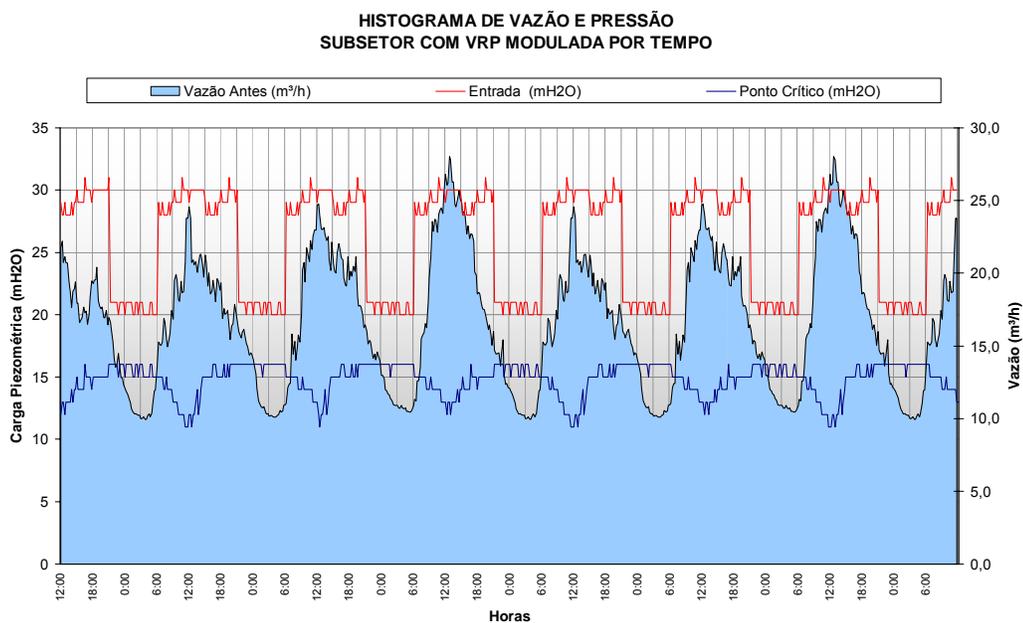
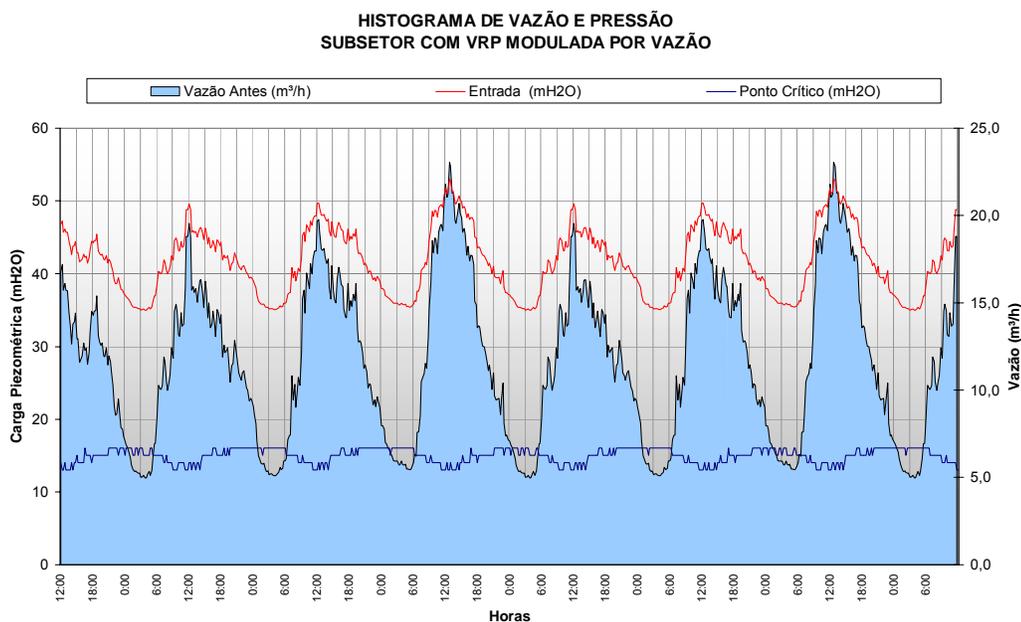


Figura 29 – Histograma de Vazão e Pressão – Subsetor de VRP com saída modulada por tempo



*Figura 30 – Histograma de Vazão e Pressão - Subsetor de VRP com saída modulada por vazão*

Dos histogramas apresentados anteriormente, podemos fazer algumas considerações importantes:

- I. Em subsetores sem controle de pressões a pressão máxima no sistema ocorre durante o período de mínimo consumo, facilitando a ocorrência de arrebatamentos nas redes e aumentando as vazões de vazamentos existentes.
- II. Nos subsetores com VRPs de saída fixa, observa-se que a pressão a jusante da válvula é constante ao longo do dia e no ponto crítico há oscilações menores que nos setores sem controle de pressão. Há uma quebra de pressões suficiente para abastecer o PC com a mínima pressão desejada durante o pico de consumo e durante o baixo consumo essa pressão se eleva porém, não atingindo valores extremos como em setores não controlados.
- III. Nos subsetores com controladores de modulação por tempo, define-se o período de horas nas quais há a maior demanda e a pressão de saída da válvula opera em um patamar mais elevado. A partir do horário de baixo consumo reduz-se a pressão a um patamar mais baixo suficiente para atender o PC satisfatoriamente.

Essa condição operacional é bastante desejada pois durante o período de demanda máxima há maior perda de carga no sistema e necessidade de uma pressão de jusante mais elevada; durante os períodos de baixo consumo em que não ocorrem perdas de carga elevada, as pressões de jusante podem ser consideravelmente reduzidas. As pressões no interior do subsetor oscilam muito pouco ao longo de todo o dia.

- IV. Subsetores com controle de vazões tem comportamento semelhante aos com controle por tempo. A diferença fundamental é que para cada demanda há uma pressão de jusante correspondente. Assim, a pressão interna do subsetor é mantida praticamente constante ao longo do dia e em níveis mínimos possíveis para o abastecimento satisfatório.

#### **2.3.4 Resultados do Controle de Pressão**

A título ilustrativo é bastante válido utilizar exemplos de setores controlados por VRPs para demonstrar a eficiência do controle de pressões na redução das perdas reais. Conquanto é necessário deixar bastante claro que a VRP não é a única forma de controlar pressões nas redes de distribuição. Sabe-se que um projeto adequado de setorização ou mesmo re-setorizar uma área existente, pode alcançar os mesmos resultados na redução de pressões e perdas.

O controle de pressões nas redes de distribuição tem impacto imediato nos volumes de perdas. Através de análises de históricos de vazão antes e depois da implantação de uma válvula redutora de pressão é possível observar claramente o ganho em volume, uma vez que as vazões de vazamentos são reduzidas a partir da entrada em operação da válvula.

Alguns técnicos questionam se a redução na vazão é devida à redução no consumo provocado pela pressão mais baixa oferecida ao consumidor.

De fato, a redução de pressão nas redes irá afetar os pontos de consumo ligados diretamente à rede de distribuição, reduzindo as vazões consumidas. Não obstante, os pontos de consumo ligados a reservatórios (caixas d'água) não sofrerão qualquer impacto de redução de consumo (Farley & Trow, 2003).

Considerando que os sistemas de distribuição de água no Brasil são predominantemente caracterizados pela existência de reservatórios individuais (caixas d'água), podemos então estimar que a redução de pressões exerce pouca influência no consumo.

Em seu estudo, Galvão (2007) avaliou o efeito da redução de pressões sob o consumo na RMSP. Após análises estatísticas comparando áreas testemunhas sem controle de pressões com áreas controladas por VRPs, Galvão demonstra que mesmo havendo uma redução de consumo pouco significativa nas áreas controladas, a mesma tendência é observada em outras áreas-testemunha e portanto não é possível afirmar que há redução de consumo devido à redução de pressões.

Quando analisamos e comparamos histogramas de vazão nas condições anteriores e posteriores à redução de pressões, os maiores ganhos são visivelmente observados na comparação das vazões mínimas noturnas.

Também é possível verificar que a magnitude entre as vazões máximas e mínimas também aumenta, ou seja, a razão ( $Q_{\text{mín}}/Q_{\text{máx}}$ ) aumenta após o controle de pressões. A seguir é apresentado o gráfico comparativo de um subsetor real ilustrando o aumento na amplitude entre as vazões máximas e mínimas e a significativa redução na vazão mínima noturna.

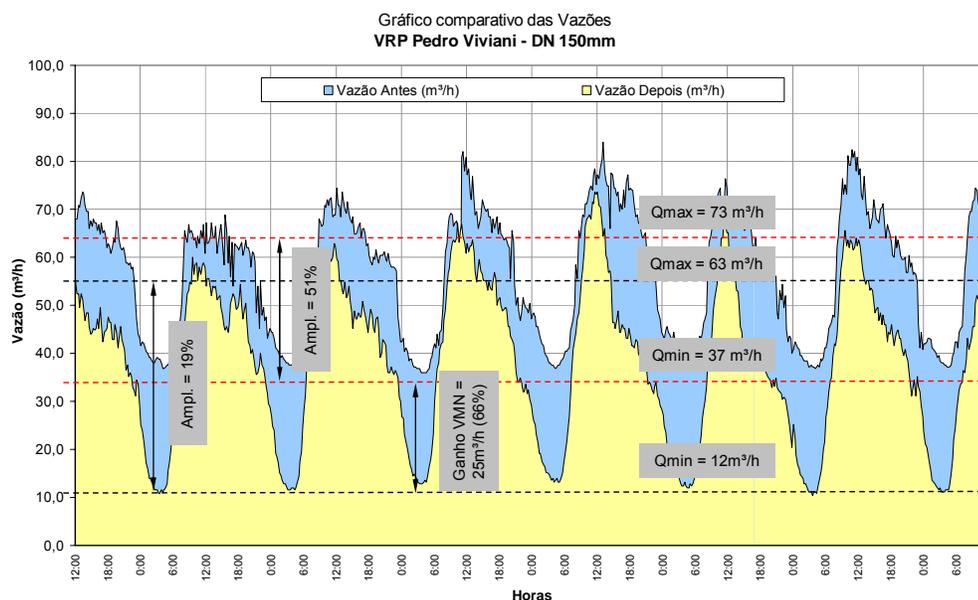


Figura 31 – Vazões antes e depois do controle de pressões

A figura anterior deixa bastante evidente o benefício obtido após o controle de pressões. Nota-se que a vazão mínima noturna representava quase 51% da vazão máxima diária. Após o controle de pressões essa razão reduziu-se a 19%. Esses resultados são típicos de setores sem controle de pressão que passam a ser controlados.

É prática das companhias de saneamento uma análise simplificada para a confirmação da viabilidade da instalação de uma VRP, pode-se transformar as vazões em volumes recuperados que multiplicados pelo custo marginal da água tratada resultam na receita total recuperada em um determinado período de tempo. Dividindo-se o custo do investimento pela receita recuperada obtém-se o tempo de retorno de investimento. A seguir apresenta-se esse equacionamento.

$$VR = \int_0^t Q_{\text{antes}} \partial t - \int_0^t Q_{\text{depois}} \partial t \quad \text{Equação 9}$$

$$RR = CM \times VR \quad \text{Equação 10}$$

$$TRI = \frac{CI}{RR} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

VR = Volume recuperado em um determinado período de tempo [m<sup>3</sup>/ano];

RR = Receita recuperada [R\$/ano];

CM = Custo marginal da Água Tratada [R\$/m<sup>3</sup>];

TRI = Tempo de Retorno do investimento [anos];

CI = Custo do investimento [R\$].

Em casos extremos de subsetores com perdas elevadas, os investimentos são recuperados no prazo de dias.

Na seqüência deste trabalho serão apresentados estudos de casos de subsetores evidenciando a importância do controle de pressões nas redes de distribuição para redução das perdas reais.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA**

Para o desenvolvimento deste trabalho além do embasamento teórico, fundamentado na revisão bibliográfica, foram desenvolvidos vários levantamentos de campo para obtenção de dados relativos à performance de subsetores que passaram a ter pressões reduzidas nas redes de distribuição após a instalação e operação de válvulas redutoras de pressão.

Ademais foram realizadas algumas simulações hidráulicas utilizando-se programas de modelagem matemática para verificar o comportamento hidráulico dos subsetores estudados e a viabilidade técnica da implantação do controle de pressões.

Neste capítulo estarão descritos os materiais e métodos utilizados para a concepção de um subsetor e os equipamentos utilizados para as investigações de campo e consolidação dos dados de operacionais dos setores controlados.

#### **3.1 MÉTODOS UTILIZADOS**

Desde as primeiras investigações para verificação de áreas com potencial para instalação de válvulas redutoras de pressão até a efetiva implantação do subsetor controlado e avaliação da redução de perdas reais são cumpridas várias etapas as quais são apresentadas na seqüência deste capítulo.

##### **3.1.1 Fluxograma das atividades**

O fluxograma das atividades desenvolvidas, desde os estudos preliminares até as análises dos benefícios do controle de pressões, é apresentado a seguir.

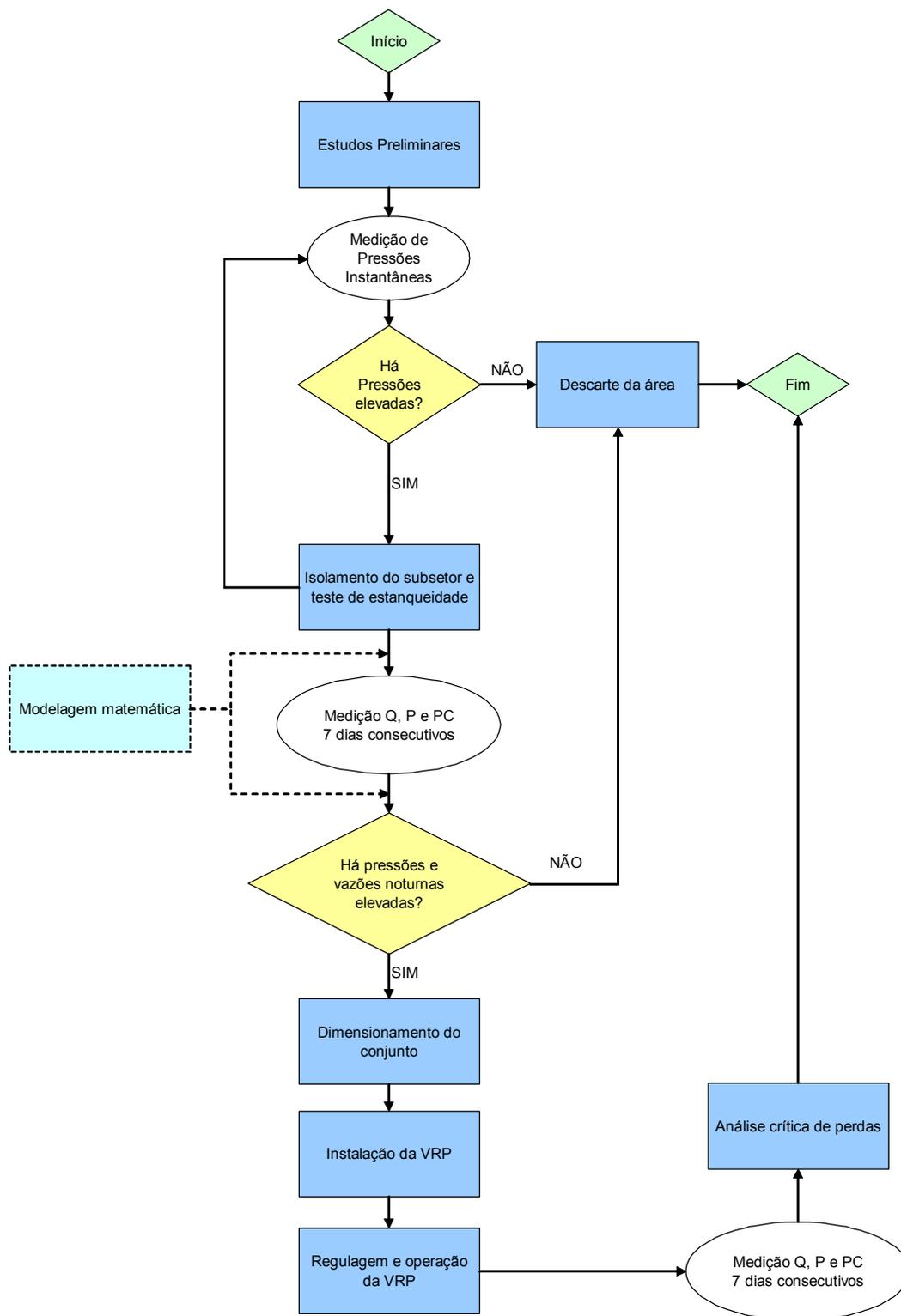


Figura 32 – Fluxograma de atividades

### **3.1.2 Estudos preliminares**

O processo de seleção de um subsetor com potencial para redução de pressões inicia-se com a avaliação dos dados do cadastro técnico do setor de abastecimento, da conformação topográfica, dos subsetores existentes, das linhas de distribuição primárias e das cotas e planos piezométricos das zonas de pressão.

Essa análise preliminar permite reconhecer áreas submetidas a pressões estáticas elevadas e com condições hidráulicas favoráveis à instalação de VRPs. Entende-se que a condição hidráulica necessária é a existência de redes primárias capazes de abastecer a área de estudo e que o isolamento do subsetor não prejudique o abastecimento das áreas adjacentes com a interrupção de redes ou anéis principais.

Em seguida, delimita-se preliminarmente o subsetor potencial e os pontos de interesse para medições de pressões instantâneas e inicia-se a investigação de campo.

### **3.1.3 Medição de pressões instantâneas (manometria)**

Nas fases de reconhecimento de campo nas áreas potenciais são tomadas pressões instantâneas em pontos e horários estratégicos dentro da área de estudo.

As tomadas de pressão são realizadas com auxílio de manômetros que são acoplados em pontos de consumo diretamente conectados à rede de distribuição. Em geral, são tomadas pressões nas torneiras dos consumidores junto aos cavaletes.

As pressões medidas são anotadas nas plantas de cadastro e com a data e horário da medição, o que permite uma análise de coerência entre o valor medido e o valor estimado para as condições do clima e de demandas.

As campanhas de medições instantâneas são divididas em duas fases. Na primeira fase, as medições são realizadas nas condições existentes do setor de abastecimento ainda sem isolamento do subsetor.

A primeira campanha permite de antemão verificar possíveis inconsistências entre as pressões medidas e as pressões esperadas. Havendo alguma incompatibilidade,

devem ser aprofundadas as investigações a fim de identificar suas causas que podem ser fraudes, vazamentos não visíveis, registros fechados, erros cadastrais entre outros. Corrigidos os eventuais problemas, repete-se a primeira fase. Essa primeira campanha já pode descartar uma área potencial.

A segunda campanha de medições ocorre após o isolamento do subsetor e o teste de estanqueidade mediante a confirmação do potencial da área. Os procedimentos de medição são idênticos ao da primeira campanha.

Na segunda fase irá se verificar o efeito do isolamento do subsetor sobre as pressões internas e externas. Mantidas as pressões elevadas nas áreas internas e satisfatórias nas áreas externas, o subsetor é mantido isolado. Do contrário, são feitos ajustes nos limites até encontrar a configuração ideal. A segunda campanha pode descartar a área como potencial.

#### **3.1.4 Teste de estanqueidade**

Confirmado o potencial da área na primeira fase de manometria deve-se realizar o teste de estanqueidade para verificação do perfeito isolamento do subsetor. Para o teste de estanqueidade o procedimento passo a passo utilizado é o seguinte:

- ✓ Indicação na planta cadastral quais os registros do limite do setor que devem permanecer fechados;
- ✓ Identificação em campo se todos os registros de limite do setor estão visíveis e operando normalmente;
- ✓ Manutenção, substituição ou instalação de registros de limite, se necessário;
- ✓ Identificação dos consumidores prioritários no setor e elaborar um plano para abastecê-lo, caso necessário, sem prejuízo do teste;
- ✓ Fechamento do registro da entrada do setor, interrompendo totalmente o abastecimento da área;
- ✓ Monitoramento das pressões instantâneas em pontos estratégicos com utilização de manômetros;

- ✓ Utilização de descargas e/ou hidrantes existentes para facilitar a descarga da rede;
- ✓ Verificação do perfeito isolamento do subsetor e conclusão do teste;
- ✓ Abertura do registro na entrada do setor permanecendo todos os registros de limites fechados;
- ✓ Monitoramento das pressões após restabelecimento do abastecimento na área. Caso haja problemas de baixa pressão ou falta d'água, verificar os registros internos ao setor que devem permanecer abertos;

O teste de estanqueidade é interrompido a qualquer momento em função das necessidades de abastecimento desde que os resultados sejam suficientes. A condição ideal é realizar o teste de “estanqueidade zero” como preconizado no item 2.1.4 – Distritos de Medição e Controle, deste trabalho.

O teste de estanqueidade também pode descartar a área potencial.

### **3.1.5 Modelagem matemática**

A modelagem matemática foi aplicada com objetivo de auxiliar nos estudos para delimitação de subsetores e/ou para identificar eventuais problemas não detectados nas investigações de campo.

Para a montagem dos modelos matemáticos os elementos hidráulicos e dados de entrada necessários são o cadastro técnico das redes de distribuição e os dados de consumo na área de estudo.

Para as montagens dos modelos apresentados neste trabalho utilizaram-se dois tipos de procedimento para calibração dos modelos e simulações hidráulicas:

- I. Para as simulações no setor de abastecimento Ermelino Matarazzo na RMSPP foram utilizados os dados de medições de pressão instantânea em diversos pontos ao longo da distribuição e dados históricos de macromedição, micromedição e índices de perdas. Esses dados somados ao cadastro da rede de distribuição e à topografia do setor são suficientes para calibração do modelo e para as simulações hidráulicas.

- II. Para as simulações no setor de abastecimento Fonte em Araraquara, os dados utilizados foram medições instantâneas de pressão em diversos pontos da rede de distribuição, medições de pressões durante 48 horas para verificação da flutuação em função da demanda e registros dos dados de vazão e pressão nas entradas das zonas de pressão.

Foram utilizados dois *softwares* de modelagem distintos que, de maneira geral, possuem a mesma sistemática para entrada de dados e calibração do modelo.

O algoritmo de análise hidráulica empregado em ambos *softwares* utilizados é o Método do Gradiente (MG) proposto por Todini e Pilati (1997) que é um método híbrido de análise que resulta em um número menor de iterações (Formiga & Chaudhry, 2008).

#### *3.1.5.1 Manipulação dos dados de entrada no modelo*

Os dados necessários supracitados devem ser trabalhados e consistidos antes do início da modelagem matemática.

Para o caso de não se dispor de medições de séries históricas (caso I), os dados de micromedição totalizados mensalmente são transformados em vazões médias diárias. A vazão média diária ( $Q_{\text{méd}}$ ) majorada dos fatores  $K_1 = 1,5$  e  $K_2 = 1,2$  e do índice de perdas aparentes (IPA) somados ao consumo de grandes consumidores ( $Q_{\text{GC}}$ ), resultam na vazão máxima para entrada no programa de simulação contemplando a situação mais crítica de distribuição.

A vazão de grandes consumidores não é majorada pois o controle dessas vazões é mais rigoroso e as perdas são pouco significativas.

Para determinar a vazão mínima ( $Q_{\text{mín}}$ ), que é a situação crítica de perdas, toma-se a vazão média reduzida do fator  $K_3 = 0,5$  que resulta na vazão mínima de dimensionamento. Essa determinação tem por objetivo refletir as condições de vazão mínima noturna portanto, não são consideradas as vazões de grandes consumidores exceto quando é sabido que existem consumos noturnos significativos. Também não se majora a vazão mínima com os valores de perdas aparentes.

Na vazão mínima espera-se que a influência das perdas de carga sejam pouco representativas e que a pressão na rede de distribuição atinja valores próximos à pressão estática.

O equacionamento para cálculo das vazões de entrada no programa é apresentado a seguir:

$$Q_{\text{máx}} = \left( \frac{K_1 \times K_2 \times Q_{\text{méd}}}{\text{IPA}} \right) + (Q_{\text{GC}}) \quad \text{Equação 12}$$

$$Q_{\text{mín}} = K_3 \times Q_{\text{méd}} \quad \text{Equação 13}$$

Para a simulação hidráulica com dados de vazões e pressões medidos em campo, o processo da modelagem é o mesmo descrito anteriormente.

O diferencial da utilização de dados medidos em condições reais de campo é a qualidade dos dados, permitindo uma fidelidade e confiabilidade maiores que as estimativas e premissas adotadas anteriormente.

O programa utilizado permite a entrada de dados de medições de vazão e pressão nos nós em que foram realizados. Com esses dados o programa ajusta automaticamente as condições hidráulicas do modelo para alcançar os valores das medições. Quanto maior a quantidade de pontos medidos, maior a fidelidade do modelo.

### 3.1.5.2 Construção e calibração dos modelos

Os principais elementos da rede para a montagem dos modelos são: tubos; nós; singularidades que produzam perdas localizadas significativas como curvas, medidores de vazão, estruturas de controle de vazão e pressão, válvulas, bombas, boosters; válvulas de retenção; válvulas redutoras de pressão; tanques e reservatórios.

O trecho definido entre dois nós corresponde a um tramo e deve possuir um diâmetro constante, mesmo coeficiente de rugosidade e pode possuir curvas, válvulas e bombas.

Um nó é um ponto onde se encontram dois ou mais tubos ou simplesmente um ponto onde se concentra uma demanda (vazão). Um nó com cota piezométrica conhecida é definido como uma conexão a um reservatório ou a um ponto onde a pressão de descarga é conhecida. Uma rede hidráulica deve conter, pelo menos, um nó com cota piezométrica conhecida.

As malhas obtidas pelo conjunto de nós e tramos de tubulações definem um circuito fechado.

Os dados necessários para modelar um tubo são: comprimento total do tubo; diâmetro da tubulação; coeficiente de rugosidade; componentes de perdas localizadas.

Nas simulações em regime permanente, utilizadas neste trabalho, a conexão da rede hidráulica a um reservatório representa um nó com cota piezométrica conhecida, a qual é igual à elevação do nível de água.

Na modelagem outros elementos ou situações específicas de um setor de abastecimento podem ser definidos, tais como: demandas nos nós para a situação específica que se deseja estudar ou caso existam válvulas reguladoras de pressão ou de vazão, a pressão ou a vazão estabelecida pelas mesmas deve ser especificada.

Para o lançamento das cotas nos nós foi elaborado um modelo tridimensional da superfície através das curvas do cadastro técnico com a utilização do programa Autodesk Land Development Desktop. A partir deste modelo da superfície foram lançadas as cotas dos nós com a utilização de algoritmos de programação em Visual Basic for Applications.

A etapa de calibração do modelo matemático da rede hidráulica consistiu na determinação dos parâmetros do modelo de forma que os resultados analíticos se aproximassem dos dados de medições instantâneas de pressão.

Na primeira operação efetuada estimaram-se as vazões nas entradas dos setores (a partir das medições ou dos dados históricos) e adotou-se uma rugosidade teórica

média nas tubulações. Faz-se uma simulação para a vazão máxima e outra para a vazão mínima.

Nesta análise inicial já é possível detectar e corrigir as distorções advindas das características físicas das redes (cotas, diâmetros, interligações). Essas inconsistências são facilmente identificadas após a primeira operação quando comparadas aos resultados esperados monitorados em campo (pressões instantâneas e/ou pressões históricas).

Na segunda operação já se inicia o processo de calibração para verificar a consistência do modelo. O método de calibração é o ajuste simultâneo das pressões medidas, corrigindo-se os valores de rugosidade e de perdas localizadas. Ou seja, são fixados os valores de vazões e pressões nos nós medidos em campo e o modelo ajusta automaticamente as perdas de carga (rugosidades) nos tramos. Este processo de calibração permite tornar independente o ajuste das características físicas da rede de distribuição do ajuste dos consumos.

Para os cálculos, o programa admite que todas as válvulas (registros) internas ao setor estão abertas, o que na prática não corresponde à realidade. Sabe-se que existindo registros fechados internamente ao setor a água realiza outros caminhos preferenciais que podem reduzir ou aumentar as perdas de cargas em alguns trechos.

Embora muitos dos valores sejam assumidos, esse procedimento é bastante confiável e reflete com uma boa aproximação o comportamento hidráulico real em um setor.

As modelagens realizadas apresentam resultados tão seguros que, em alguns casos, o modelo permite até mesmo identificar registros internos fechados.

### *3.1.5.3 Apresentação gráfica dos resultados*

Os resultados obtidos com as simulações oferecem elementos de planejamento importantes.

Nos modelos é possível identificar áreas submetidas a pressões elevadas, áreas com deficiência de abastecimento, redes com excesso de perda de carga, altas

velocidades do fluxo em pontos das redes, caminhos preferenciais do fluxo, problemas nas redes, peças ou acessórios etc.

Todos os resultados são apresentados graficamente e em forma de tabelas editáveis.

Os mapas temáticos fornecem uma visualização clara do comportamento hidráulico nas redes, fornecendo subsídios para os estudos de setorização e sub-setorização e melhorias.

### **3.1.6 Medições de vazão e pressão por período estendido**

As medições de vazão e pressão são realizadas na(s) entrada(s) dos setores de abastecimento e as pressões são medidas em pontos estratégicos conforme definido nos estudos preliminares, durante períodos prolongados para verificar os efeitos das flutuações sazonais.

As medições fornecem os parâmetros para dimensionamentos, melhorias em pontos deficientes do abastecimento e melhorias operacionais. As medições também podem ser utilizadas para calibração de modelos matemáticos quando aplicados.

Em subsetores onde serão instaladas válvulas redutoras de pressão as medições ocorrem na rede de entrada no ponto de instalação da futura VRP e no(s) ponto(s) crítico(s).

Essas medições são utilizadas para dimensionamento das peças do conjunto de instalação da válvula, do medidor de vazões, do filtro e das tubulações. O perfil de consumo da área e o comportamento hidráulico do subsetor irá subsidiar a definição do tipo de controle necessário na fase de operação da VRP.

Neste trabalho, as medições foram realizadas durante sete dias consecutivos com registros de dados em intervalos de quinze minutos.

As medições de vazão e pressão na entrada dos subsetores são feitas diretamente nas tubulações onde se instala um registro de derivação (TAP) na rede de entrada através do qual são inseridos os equipamentos de medição que podem ser desde

medidores eletromagnéticos de inserção, mais modernos, até os tubos Pitot, em desuso.

Antes de qualquer medição é necessário se conhecer o diâmetro real da tubulação e a projeção do TAP no interior da tubulação.

Mesmo uma tubulação nova não apresenta o diâmetro perfeitamente igual ao nominal e no caso das tubulações mais antigas é possível a existência de incrustações que podem reduzir o seu diâmetro interno. Torna-se necessário, portanto, a determinação do diâmetro real do tubo, na seção onde está sendo feita a medição.

Além disso, ao se instalar o registro de derivação, este se projeta para dentro da tubulação provocando uma redução na seção de escoamento. É necessária a determinação desta projeção para efetuar as correções necessárias na área da tubulação.

Nos estudos desenvolvidos nesse trabalho, utilizaram-se medidores eletrônicos de inserção que são introduzidos na tubulação através dos TAPs e convertem medições de velocidade do fluxo em dados de vazão.

Neste trabalho foram realizadas medições tanto em TAPs com auxílio dos medidores de inserção, quanto em medidores velocimétricos do tipo Woltmann instalados em áreas controladas por VRPs.

As medições de vazão e pressão na entrada dos setores controlados por VRPs ocorreram a partir de tomadas de pressão no corpo da VRP e tomadas de pulsos nas saídas dos hidrômetros com o auxílio de equipamentos armazenadores de dados com dois canais de entrada de dados (*data-loggers*).

A medição de pressão em pontos da rede de distribuição ocorre de forma mais simples através de instalação de *data-loggers* com um canal de entrada de dados, instalado nos cavaletes dos consumidores ou em TAPs instalados na rede de distribuição.

No cavalete, é efetuada uma derivação na torneira (quando existente) ou no *plug* de jusante do hidrômetro. Dessa maneira, o consumidor pode utilizar normalmente a torneira no período em que está sendo efetuada a medição.

### **3.1.7 Dimensionamento de conjunto para redução de pressões**

O dimensionamento dos conjuntos são baseados nos catálogos e recomendações dos fabricantes das válvulas, medidores e filtros.

Para o dimensionamento das válvulas são condicionantes as pressões e vazões de trabalho. Diferenciais de pressão de montante e jusante na válvula ou de vazões muito acentuados podem causar instabilidade no equipamento e cavitação.

Para dimensionamento dos medidores devem ser levadas em conta as vazões máximas e mínimas e compatibilizar o range do medidor para toda a faixa de vazões. Em casos que a faixa de vazão é extrema, devem-se utilizar medidores de capacidades diferentes instalados em paralelo alcançando toda a faixa de medição sem prejuízo ao controle da área.

Para os filtros as limitantes são as perdas de carga no elemento filtrante. Para isso é recomendável considerar que os intervalos entre as manutenções e limpezas é prolongado e o filtro irá trabalhar parcialmente obstruído na faixa de 25% a 50%.

### **3.1.8 Projeto e instalação de conjunto para redução de pressões**

No projeto dos conjuntos são necessários alguns cuidados para que a operação e manutenção dos conjuntos sejam facilitadas:

- ✓ A caixa abrigo da VRP deve possuir espaço suficiente ao redor da válvula para facilitar a manutenção, desmontagens e ajustes;
- ✓ A instalação deve ser sempre executada com by-pass em paralelo com a válvula. No caso de manutenção, normalmente não será necessário parar o abastecimento;

As obras para instalação do conjunto compreendem:

- ✓ Sinalização e isolamento do local da instalação;
- ✓ Abertura manual ou mecanizada de vala com dimensões variáveis de acordo com o diâmetro do conjunto a ser instalado;
- ✓ Escoramento da vala (tipo escoramento definido de acordo com as condições do solo);

- ✓ Esgotamento da vala quando necessário;
- ✓ Seccionamento da rede existente;
- ✓ Montagem do conjunto com by-pass da rede existente;
- ✓ Construção de caixa em alvenaria estrutural ou concreto armado com dimensões variáveis em função do diâmetro da montagem;
- ✓ Construção de laje com assentamento de tampões de acesso;
- ✓ Reaterro e compactação;
- ✓ Reposição do pavimento original existente no local e limpeza;

Após a conclusão das obras a válvula está apta a entrar em operação.

### **3.1.9 Operação e regulação de VRPs**

Conhecidos os valores e a amplitude das faixas de pressões nos pontos mais críticos é definido o tipo de controle a ser utilizado no subsetor conforme descrito no item 2.3.3 - Regulação e Operação das VRPs.

Para qualquer que seja o tipo de controle utilizado a regulação inicial é feita através do acionamento hidráulico e mecânico da VRPs.

Inicialmente regula-se a velocidade de acionamento da VRP na válvula agulha no circuito de pilotagem. Em seguida, define-se a pressão desejada a jusante da VRP, girando o parafuso de regulação no sentido horário para aumentar a pressão de saída e anti-horário para diminuir, até atingir a pressão desejada. Atingida a pressão de regulação deve-se travar o parafuso de regulação apertando a porca de trava da válvula piloto.

Para válvulas operadas com modulação por tempo ou por vazão, são feitas pequenas adaptações nos circuitos de pilotagem e o acionamento passa a ser comandado pela ação do controlador.

Neste trabalho todos os setores de válvulas estudados possuem operação com pressões de saída fixa.

### **3.1.10 Análises de resultados obtidos**

Os resultados obtidos nos estudos de caso serão analisados sob duas óticas distintas, uma vez que para o setor de abastecimento Ermelino Matarazzo foram desenvolvidas ações efetivas de controle de pressões e para o setor Fonte de Araraquara, o estudo realizado é apenas teórico.

Para o caso do setor de abastecimento Ermelino Matarazzo (RMSP) serão avaliados os ganhos reais obtidos pelas ações de controle de pressões efetivamente desenvolvidas comparando-se os dados de vazões anteriores e posteriores a instalação de um parque de VRPs.

Para o caso do setor de abastecimento Fonte (Araraquara/SP) a análise dos benefícios do controle de pressões será teórica comparando os valores atuais de pressões e vazões oferecidas ao sistema com os valores de pressão e vazões futuras após a implantação da re-setorização.

## **3.2 MATERIAIS UTILIZADOS**

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados variados equipamentos para as investigações de campo e *softwares* específicos para realização dos estudos de modelagem matemática, conforme descrito a seguir.

### **3.2.1 Medições de pressões instantâneas**

Para as medições de pressões instantâneas utilizaram-se manômetros analógicos com escala de 0 a 100 mH<sub>2</sub>O com mangueira para engate rápido com rosca BSP de 3/4", adaptável à maioria das torneiras dos cavaletes, e com borracha cônica para torneiras de 1/2" a 3/4" com ou sem rosca. As figuras a seguir apresentam os manômetros utilizados do fornecedor Mecaltec.



Figura 33 – Manômetros analógicos

### 3.2.2 Medições de vazão e pressão em TAP

Para as medições de vazão e pressão nos TAPs da rede foram utilizados medidores eletrônicos de inserção.

O princípio de funcionamento desses medidores é a conversão de velocidades e pressões em pulsos elétricos que são interpretados e armazenados.

Para esse trabalho foram utilizados medidores do modelo Aquaprobe II do fabricante ABB e o modelo LoggerMate do fabricante Wessex Eletronics apresentado na figura a seguir.

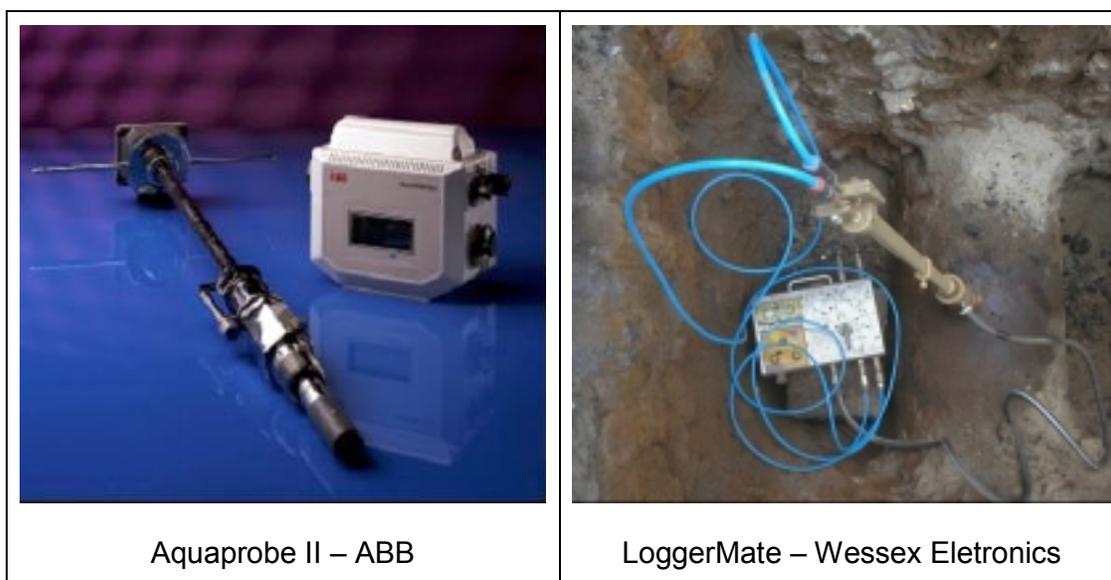


Figura 34 – Medidores de inserção

### 3.2.3 Medição de vazão e pressão com data-loggers

Para as medições de vazão e pressão nas válvulas instaladas e para medir pressões nos pontos de consumo na rede (antes e depois da instalação da VRP) foram utilizados armazenadores de dados (*data-loggers*) do modelo Metrolog do fabricante Technolog, com uma ou duas entradas de dados. A figura abaixo apresenta o *data-logger* utilizado.



Figura 35 – Data-logger de vazão e pressão

Os armazenadores possuem sensores de pressão e canais de entrada de pulsos elétricos para registro de vazões que registram dados em intervalos definidos pelo usuário que variam de um segundo à vinte e quatro horas. Neste trabalho, os intervalos de registros definidos foram de quinze minutos.

O *data-logger* com duas entradas é instalado junto ao conjunto da válvula redutora de pressão. Uma entrada recebe o sinal pulsado do medidor de vazões e a outra entrada com o sensor de pressão é conectada ao corpo da válvula à jusante da quebra de pressão.

Esses *data-loggers* também podem ser associados aos controladores, porém no presente trabalho não foram utilizados controladores junto às válvulas.

O *data-logger* com única entrada é utilizado para as medições de pressão nos consumidores.

Os dados armazenados são descarregados através de um cabo em um computador e o software específico desse equipamento transforma os dados em planilhas e gráficos editáveis.

As figuras a seguir apresentam a instalação junto às VRPs e aos medidores de vazão.

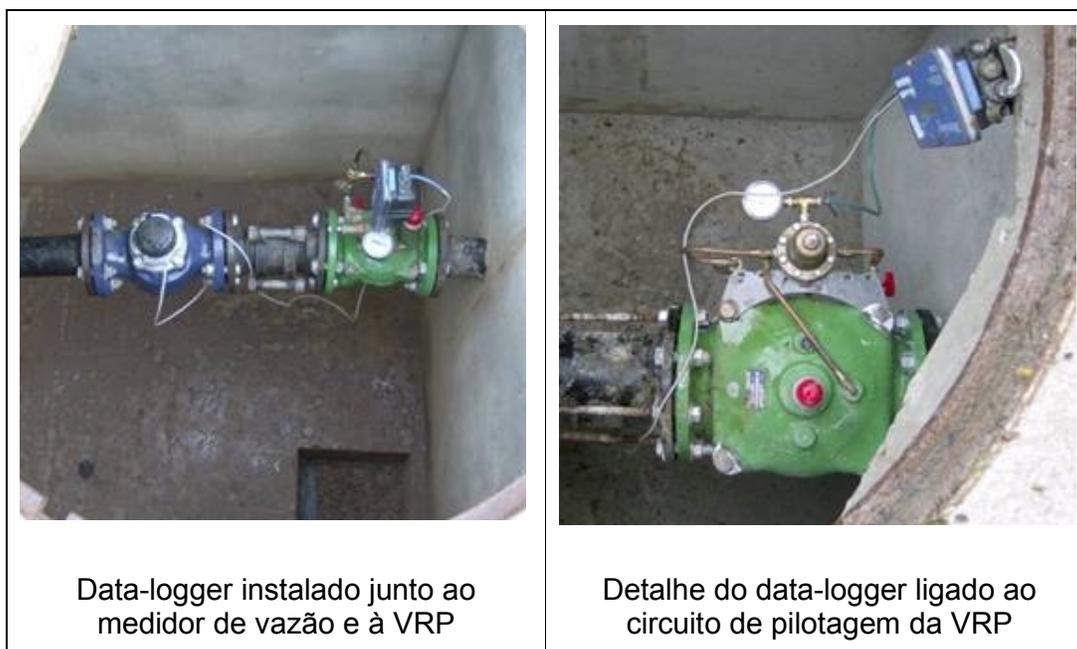


Figura 36 – Data-logger de vazão e pressão instalado

O programa utilizado para descarregar e converter os dados armazenados em informações editáveis é o PMAC Lite. A apresentação gráfica desse software é apresentada na figura a seguir.

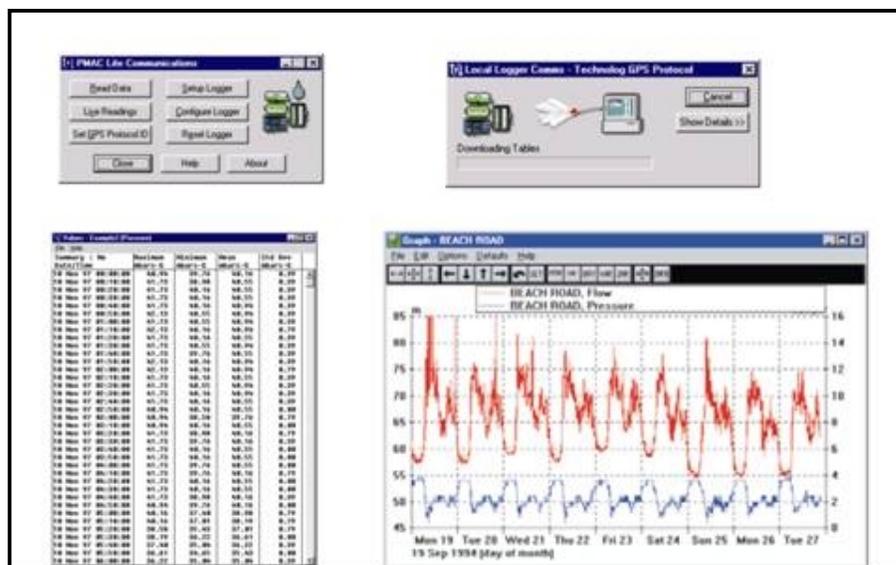


Figura 37 – Ambientes do software PMAC Lite

### 3.2.4 Softwares utilizados para a modelagem matemática

O software Autodesk Land Development Desktop foi utilizado para converter as curvas de níveis e cotas do cadastro técnico em um modelo tridimensional a partir do qual é gerada a superfície que será utilizada no modelo hidráulico para atributos de cotas nos nós da rede. A superfície gerada pelo software é transformada em atributos com utilização de algoritmos de programação em *Visual Basic for Applications*.

A figura a seguir apresenta a superfície gerada com distinção de cores para melhor visualização da topografia da área estudada. O código de cores e os intervalos altimétricos são definidos pelo usuário.

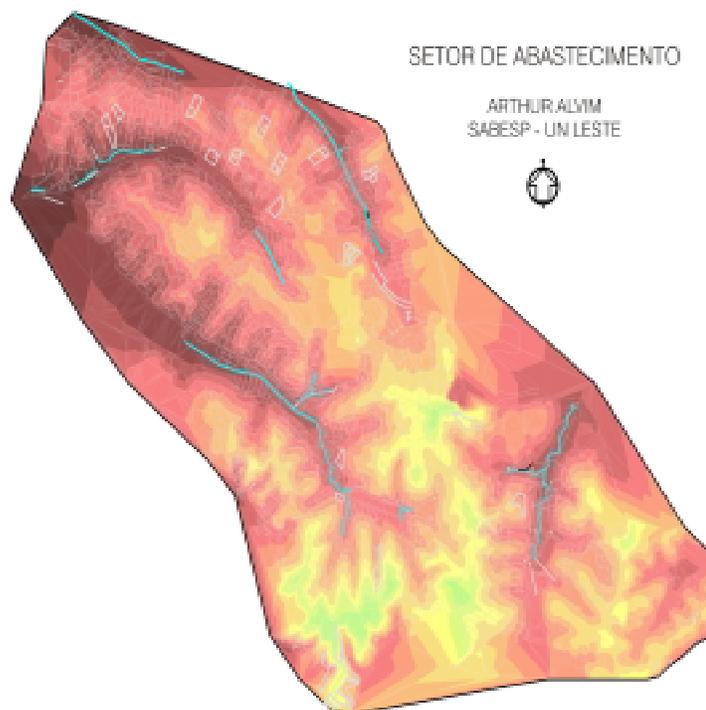


Figura 38 – Superfície gerada pelo software Autodesk Land Development Desktop

Para a escolha dos softwares de modelagem buscou-se utilizar as ferramentas disponíveis no mercado atualmente, dentre as quais optou-se por utilizar os softwares Pipe2000 e Watercad, reconhecidamente confiáveis pelos usuários técnicos.

Neste trabalho, não coube julgar e validar qual a melhor ferramenta disponível no mercado e sim apenas a aplicação nas modelagens propostas para validação dos estudos de caso apresentados a seguir.

## **4 ESTUDOS DE CASO**

Neste capítulo serão apresentados estudos desenvolvidos em dois setores de abastecimento existentes.

O primeiro caso refere-se ao setor de abastecimento Ermelino Matarazzo na RMSP na área de atuação da Sabesp. Neste setor foi realizado um trabalho de diagnóstico do potencial para ações de redução de pressão que foram concretizadas e com resultados efetivos obtidos na redução de perdas reais.

O segundo caso refere-se ao setor Fonte, localizado no Município de Araraquara, em cujo foram estudadas melhorias na setorização existente de forma a se obter melhor performance do sistema de distribuição e redução de perdas reais. Neste caso, as ações não foram efetivadas e os resultados esperados são teóricos.

### **4.1 SETOR DE ABASTECIMENTO ERMELINO MATARAZZO (RMSP)**

Os estudos desenvolvidos para o Setor de Abastecimento Ermelino Matarazzo envolveram desde a análise de todos os dados e características físicas, estruturais e operacionais do setor anteriores até a análise da efetiva implantação do controle de perdas reais através da implantação de válvulas redutoras de pressão.

A análise dos dados operacionais consistiu no levantamento de uma série histórica de doze meses consecutivos, compreendida no período de novembro de 2005 a outubro de 2006, anteriores ao início das ações de controle de pressões iniciadas em 2007.

Após a finalização das ações de controle de pressões são apresentados os resultados na redução das perdas reais.

#### **4.1.1 Caracterização da área de estudo**

O Setor de Abastecimento Emerlino Matarazzo localiza-se na Região Leste do Município de São Paulo dentro da área da atuação da Sabesp na Unidade de Negócios Leste.

O setor é abastecido pelo sistema produtor Cantareira através de uma linha de ferro fundido de 900mm que chega ao centro de reservação (CR) Ermelino. O setor tem flexibilidade para receber ainda, água do sistema Alto Tietê e do reservatório de São Miguel.

O CR possui um reservatório retangular apoiado de onde partem as ramificações para abastecer a Zona Baixa (ZB) com níveis operacionais variando de  $NA_{\min} = 787,50$  m a  $NA_{\max} = 796,00$  m e um reservatório elevado para atendimento da Zona Alta (ZA) com nível operacional variando de  $NA_{\min} = 815,50$  m a  $NA_{\max} = 819,00$  m.

As cotas da ZB do setor variam de 730 m a 775m e a variação na Zona Alta é de 760 m a 795 m. Frente aos níveis operacionais dos reservatórios e a diferença de cotas nas duas zonas de pressão, as pressões estáticas variam de 13 mH<sub>2</sub>O a 66 mH<sub>2</sub>O na Zona Baixa e de 21 mH<sub>2</sub>O e 59 mH<sub>2</sub>O, na Zona Alta. O quadro a seguir apresenta um resumo das características das zonas de pressão.

**Quadro 6 – Pressões estáticas atuantes por zona de pressão – Setor Ermelino**

| Zona de pressão | Nível do reservatório [m] |             | Cotas atendidas [m] |        | Pressão Estática [mH <sub>2</sub> O] |       |
|-----------------|---------------------------|-------------|---------------------|--------|--------------------------------------|-------|
|                 | $NA_{\min}$               | $NA_{\max}$ | Mín.                | Máx.   | Mín.                                 | Máx.  |
| Alta            | 815,50                    | 819,00      | 760,00              | 795,00 | 20,50                                | 59,00 |
| Baixa           | 787,50                    | 796,00      | 730,00              | 775,00 | 12,50                                | 66,00 |

*Fonte: Cadastro técnico Sabesp, 2007*

A figura a seguir foi gerada a partir do cadastro da Sabesp com as curvas de nível. Nela são apresentadas a configuração topográficas do setor, a localização do CR Ermelino e os limites das zonas de pressão existentes.

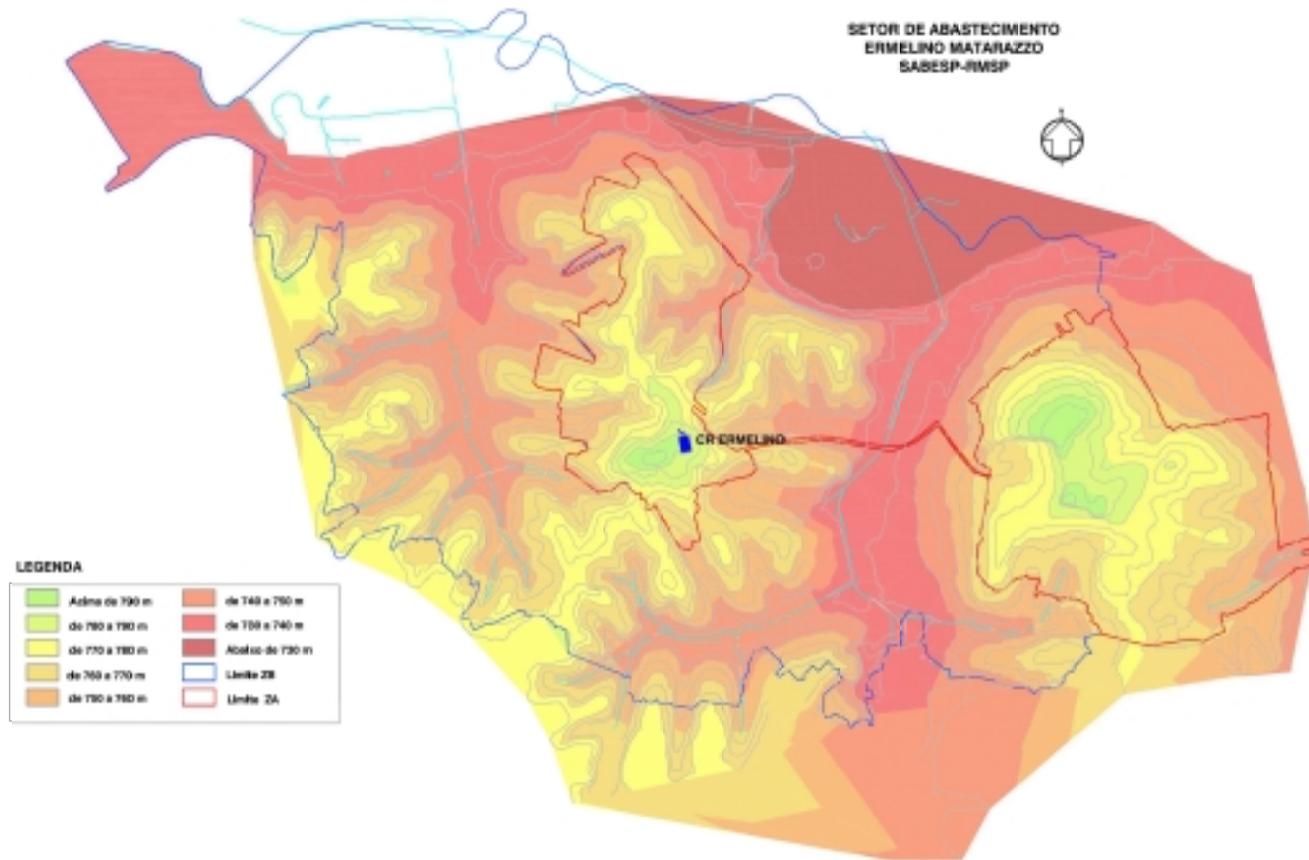


Figura 39 – Topografia da Setor de Abastecimento Ermelino Matarazzo

As redes de distribuição do setor somam 597 km sendo que aproximadamente 452 km pertencem à Zona Baixa e 145 km à Zona Alta.

Um aspecto importante na caracterização do setor de abastecimento para estudos das perdas reais nos sistemas de distribuição, é a idade da rede. Quanto mais antigas as redes, maior a probabilidade de ocorrências de arrebentamentos e de vazamentos devido à fadiga dos materiais das tubulações (Tardelli Filho, 2006). O quadro a seguir apresenta a distribuição das redes por idade.

**Quadro 7 – Extensão de rede por idade no Setor Ermelino**

| Idade<br>[anos]  | Extensão       |             |               |
|------------------|----------------|-------------|---------------|
|                  | [m]            | [% simples] | [% acumulado] |
| $i \leq 5$       | 19.293         | 3%          | 3%            |
| $5 < i \leq 10$  | 72.672         | 12%         | 15%           |
| $10 < i \leq 15$ | 4.985          | 1%          | 16%           |
| $15 < i \leq 20$ | 2.021          | 0%          | 17%           |
| $20 < i \leq 25$ | 19.088         | 3%          | 20%           |
| $25 < i \leq 30$ | 186.919        | 31%         | 51%           |
| $\geq 30$        | 232.279        | 39%         | 90%           |
| Não disponível   | 60.105         | 10%         | 100%          |
| <b>Total</b>     | <b>597.362</b> | <b>100%</b> | -             |

*Fonte: Cadastro técnico Sabesp, 2007*

Como podemos observar a rede de distribuição do setor é bastante antiga, grande parte tem idade superior a 25 anos. Esse fator, associado às pressões elevadas em alguns pontos da rede de distribuição, indica potencial de ocorrência de perdas elevadas.

Em 2007, já existiam quatro subsetores controlados por válvulas redutoras de pressão, sendo uma localizada na zona alta e três na zona baixa.

Essas válvulas controlavam aproximadamente 87 km de redes que representavam quase 15% da extensão total de redes do setor, distribuídos conforme o quadro a seguir.

**Quadro 8 – Redes cobertas por VRPs no Setor Ermelino em 2007.**

| <b>Local instalação da VRP</b> | <b>Zona de Pressão</b> | <b>Cota VRP [m]</b> | <b>Extensão de rede coberta [km]</b> | <b>% rede coberta na ZP</b> | <b>% rede coberta no setor</b> |
|--------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| R. Abel Tavares, 349           | ZA                     | 780                 | 27,7                                 | 19,1%                       | 4,6%                           |
| Av. Dr. Custódio de Lima, 541  | ZB                     | 730                 | 30,5                                 | 6,7%                        | 5,1%                           |
| R. Domingos Scarpel, 55        | ZB                     | 735                 | 24,4                                 | 5,4%                        | 4,1%                           |
| R. Japichaua, 450              | ZB                     | 730                 | 4,2                                  | 0,9%                        | 0,7%                           |
| <b>Total de rede coberta</b>   |                        |                     | <b>86,7</b>                          | <b>-</b>                    | <b>14,5%</b>                   |

Como se pode observar no quadro, cerca de 19% da extensão total de redes da zona alta possuía controle de pressões e 13% das redes de zona baixa também eram protegidas.

A figura a seguir ilustra a configuração do setor de abastecimento com as zonas de pressão e os subsetores controlados por válvulas redutoras de pressão.

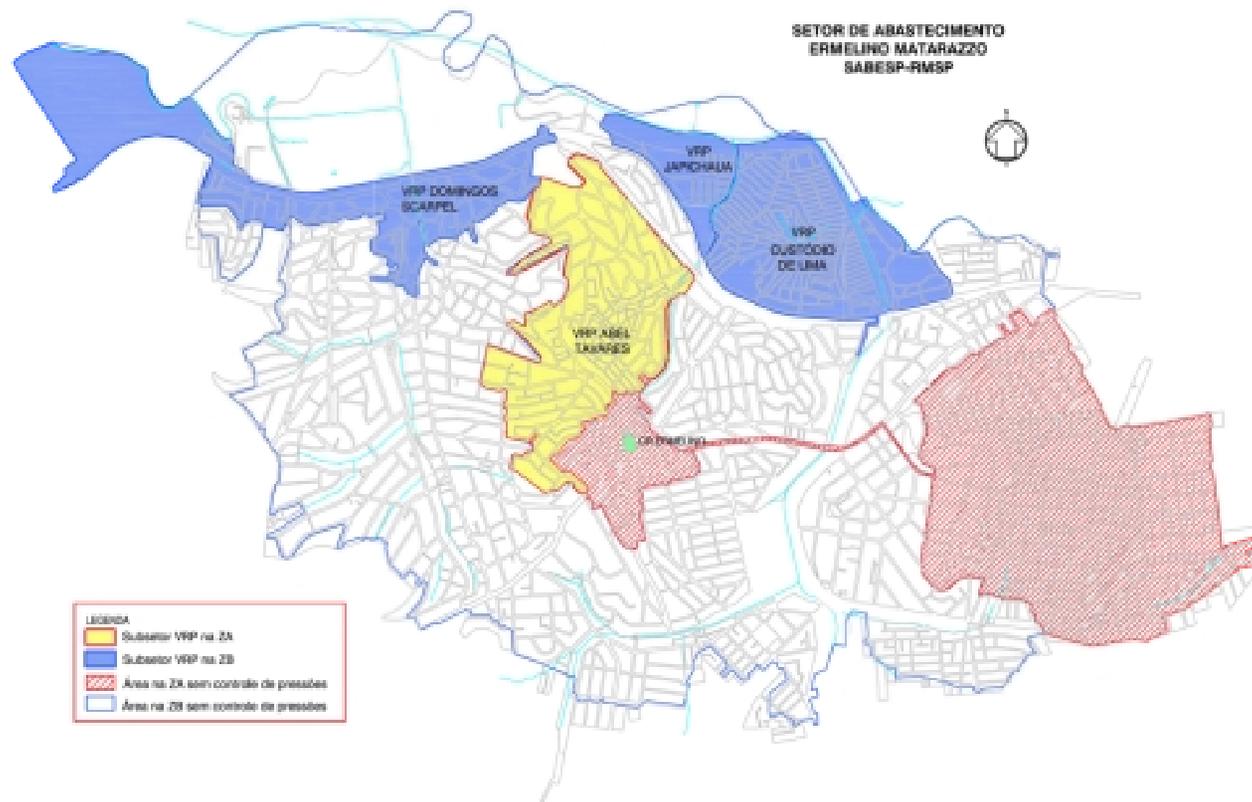


Figura 40 – Zonas de pressão e subsetores de VRPs no Setor Ermelino antes do novo programa de controle de pressões (abril de 2007)

#### **4.1.2 Indicadores operacionais**

Embora possuísse áreas controladas por VRPs, os indicadores operacionais do setor ainda indicavam ocorrências de perdas elevadas

Analisando os dados históricos de macromedição micromedições, índice de perdas, categorias de consumidores, número de ligações e consumos autorizados (uso operacional e uso social), fornecidos pela Sabesp, se observou que os consumidores do rol comum respondiam por um consumo médio de 854 mil de m<sup>3</sup>/mês dos 2,1 milhões m<sup>3</sup>/mês macromedidos. Expurgando-se os consumos autorizados e os grandes consumidores, verifica-se que as perdas totais são da ordem de 634 L/ ligação/ dia (ou um índice de perdas de 57%).

O quadro a seguir apresenta um resumo histórico de doze meses (novembro de 2005 a outubro de 2006) com os indicadores do setor utilizados para a análise de perdas.

Embora os dados disponíveis não sejam conclusivos a respeito de qual a parcela de perdas reais existente no setor, as características físicas do setor sinalizavam para uma grande probabilidade de ocorrências de perdas reais elevadas que seriam confirmadas nas investigações de campo.

**Quadro 9 – Indicadores operacionais no Setor Ermelino**

| <b>Indicador</b>                      | <b>Média</b>     | <b>nov/05</b> | <b>dez/05</b> | <b>jan/06</b> | <b>fev/06</b> | <b>mar/06</b> | <b>abr/06</b> | <b>mai/06</b> | <b>jun/06</b> | <b>jul/06</b> | <b>ago/06</b> | <b>set/06</b> | <b>out/06</b> |
|---------------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Macromedição (m³/mês)                 | <b>2.079.467</b> | 2.079.439     | 2.097.535     | 2.080.267     | 1.951.761     | 2.191.252     | 2.086.764     | 2.112.470     | 2.047.545     | 2.063.774     | 2.164.602     | 2.034.338     | 2.043.856     |
| Micromedição (m³/mês)                 | <b>898.468</b>   | 917.174       | 897.401       | 915.682       | 900.826       | 928.878       | 894.121       | 888.196       | 879.863       | 883.041       | 900.230       | 877.734       | 897.238       |
| Uso operacional / social (m³/mês)     | <b>42.305</b>    | 42.266        | 42.247        | 42.269        | 42.269        | 42.265        | 42.265        | 42.265        | 42.265        | 42.320        | 42.320        | 42.603        | 42.603        |
| Nº de ligações (lig)                  | <b>58.982</b>    | 58.765        | 58.860        | 58.839        | 58.963        | 59.047        | 59.149        | 59.164        | 59.139        | 59.068        | 58.998        | 58.915        | 58.880        |
| Consumo rol comum (m³/mês)            | <b>853.684</b>   | 874.805       | 852.131       | 873.182       | 856.415       | 881.115       | 846.358       | 840.048       | 829.364       | 833.897       | 861.083       | 837.557       | 858.251       |
| % consumo rol comum (%)               | <b>95,0</b>      | 95,4          | 95,0          | 95,4          | 95,1          | 94,9          | 94,7          | 94,6          | 94,3          | 94,4          | 95,7          | 95,4          | 95,7          |
| Consumo grandes consumidores (m³/mês) | <b>44.682</b>    | 42.369        | 45.270        | 42.500        | 44.411        | 47.763        | 47.763        | 48.148        | 50.499        | 49.144        | 39.147        | 40.177        | 38.987        |
| % consumo grandes consumidores (%)    | <b>5,0</b>       | 4,6           | 5,0           | 4,6           | 4,9           | 5,1           | 5,3           | 5,4           | 5,7           | 5,6           | 4,3           | 4,6           | 4,3           |
| <b>Perdas no setor</b> L/lig/dia      | <b>635</b>       | <b>635</b>    | <b>635</b>    | <b>615</b>    | <b>611</b>    | <b>667</b>    | <b>648</b>    | <b>644</b>    | <b>634</b>    | <b>622</b>    | <b>668</b>    | <b>630</b>    | <b>605</b>    |
| <b>Índice de perdas</b> %             | <b>56,8</b>      | <b>55,9</b>   | <b>57,2</b>   | <b>56,0</b>   | <b>53,8</b>   | <b>57,6</b>   | <b>57,2</b>   | <b>58,0</b>   | <b>57,0</b>   | <b>57,2</b>   | <b>58,4</b>   | <b>56,9</b>   | <b>56,1</b>   |

#### **4.1.3 Definição das áreas potenciais para controle de pressões**

Para o Setor Emerlino observaram-se algumas áreas sujeitas a pressões estáticas elevadas. Após análises cadastrais e definidas em planta quais são essas áreas, partiu-se para uma investigação de campo através de uma campanha de manometria, tomando-se pressões instantâneas nos pontos de interesse (pontos altos, pontos baixos, limites de zona de pressão, pontos críticos, entre outros).

Tal campanha de manometria detectou em campo a existência ou não de pressões elevadas nas redes de distribuição e colaborou para definição das ações para controle de perdas através da instalação de VRPs.

Após algumas visitas de campo e medições de pressão instantâneas foi confirmada a existência de pressões elevadas em quase toda a Zona Alta do setor e em alguns pontos da Zona Baixa próximos aos limites entre as duas zonas de pressão.

O setor apresenta uma condição de abastecimento bastante peculiar: na Zona Alta, onde se esperam pressões mais baixas de distribuição, ocorrem pressões elevadas em quase toda a área abastecida. Por outro lado, na Zona Baixa, onde se é mais freqüente a existência de cotas baixas e pressões elevadas, as maiores pressões ocorrem no limite entre as zonas de pressão, ou seja, nas cotas mais altas da zona baixa. Essa condição é indesejada para a distribuição de água.

A justificativa aparente para essas condições de distribuição reside no fato de que a expansão de setores de abastecimento é bastante dinâmica e a necessidade de atender a população superam, por vezes, o planejamento de técnico.

Visto que o Setor Ermelino é um setor consolidado, densamente ocupado e que qualquer tentativa de reformulação de seus limites causaria impacto em cadeia com os setores limieiros, a solução escolhida para redução das pressões e o controle das perdas reais foi instalar válvulas redutoras de pressão.

Os levantamentos de campo deixaram bastante evidentes as necessidades do controle de pressões na zona alta e nos limite entre as duas zonas de pressão. Durante as investigações já foi possível verificar que a mudança do limite entre as zonas alta e baixa seria conveniente. Através de manobras e pequenas interligações nas redes nos limites entre as duas zonas de pressão, os pontos mais altos da zona baixa puderam ser incorporados à zona alta de maneira a equilibrar as pressões de

serviços, buscando a mínima variação possível entre as pressões máximas e mínimas.

O pré-estudo permitiu definir cinco áreas com características bem definidas com grande potencial para se tornarem áreas controladas por VRPs. As cinco áreas possuíam uma rede primária de grande diâmetro que poderia ser utilizada com a única entrada do setor e para instalação das válvulas. Além disso, após a alteração de parte do limite entre as zonas de pressão, as pressões de distribuição no interior das cinco áreas permaneceram elevadas mesmo nos pontos mais críticos.

Os cinco subsetores propostos são: VRP Pedro Viviani, VRP Dona Ana Flora e VRP Nordestina todas na Zona Alta e VRP São Miguel e VRP Antonio Siqueira, ambas na Zona Baixa, conforme apresentado no quadro a seguir:

**Quadro 10 – Redes cobertas por VRPs no Setor Ermelino em 2007**

| <b>Zona de Pressão</b> | <b>Extensão de rede [km]</b> | <b>Subsetores de VRP</b> | <b>Extensão de rede coberta [km]</b> | <b>% rede coberta na ZP</b> |
|------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>ZA</b>              | 145,1                        | Dona Ana Flora           | 17,9                                 | 12,4%                       |
|                        |                              | Pedro Viviani            | 13,0                                 | 8,9%                        |
|                        |                              | Nordestina               | 53,9                                 | 37,1%                       |
|                        |                              | Abel Tavares             | 27,7                                 | 19,1%                       |
|                        |                              | <b>Subtotal</b>          | <b>112,4</b>                         | <b>77,5%</b>                |
| <b>ZB</b>              | 452,3                        | São Miguel               | 27,9                                 | 6,2%                        |
|                        |                              | Antonio Siqueira         | 8,2                                  | 1,8%                        |
|                        |                              | Custódio de Lima         | 30,5                                 | 6,7%                        |
|                        |                              | Domingos Scarpel         | 24,4                                 | 5,4%                        |
|                        |                              | Japichaua                | 4,2                                  | 0,9%                        |
| <b>Subtotal</b>        | <b>95,1</b>                  | <b>21,0%</b>             |                                      |                             |

Somados esse subsetores totalizam novos 121 km de redes cobertas sendo 85 km na Zona Alta e 36 km na Zona Baixa com uma cobertura de 78% na Zona Alta e 21% da Zona Baixa protegida.

Definidas as cinco áreas e os limites físicos das mesmas, partiu-se para a simulação hidráulica para verificação da viabilidade de se promover o isolamento dessas áreas.

A modelagem hidráulica foi realizada com a utilização do *software* Pipe2000 e teve o objetivo apenas de verificar e antever eventuais problemas na distribuição e confirmar a viabilidade do controle de pressões através da instalação de VRPs. Nas simulações efetuadas já foram consideradas as alterações nos limites entre as zonas de pressão e os limites propostos para as cinco novas áreas.

Para a modelagem os valores das vazões máximas e mínimas foram estimados de acordo com a característica individual de cada uma das áreas, optou-se por não extrapolar os dados de macromedição de todo o setor de abastecimento para evitar distorções nos resultados.

Dessa forma, para cada uma das áreas atribuiu-se o valor de vazões de consumo esperados nos pontos de entradas dos futuros subsectores.

Após consulta ao cadastro comercial da Sabesp foram obtidos os valores de micromedição, número de ligações e número de economias, com base em maio de 2007, de cada uma das áreas em estudo. Manipulando-se esses dados foi possível estimar as vazões máxima e mínima de consumo no setor e com esses dados realizar as simulações.

Com o valor da micromedição mensal (em m<sup>3</sup>/mês) estimou-se a vazão média de consumo (m<sup>3</sup>/h), a esse valor médio foram aplicados coeficientes para a estimativa das vazões máximas e mínimas, sendo:

- ✓ Coeficiente do dia de maior consumo k1 = 1,2;
- ✓ Coeficiente da hora de maior consumo k2 = 1,5;
- ✓ Coeficiente da hora de menor consumo k3 = 0,5;
- ✓ Perdas totais (k4) = 1,6;

Para a vazão máxima, considerou-se que a vazão média calculada deve ser majorada da perda aparente no setor e pelos coeficientes k1 e k2. Para a vazão mínima considerou-se apenas a minoração pelo coeficiente k3 sem majoração das perdas, conforme equacionamento:

$$Q_{MÁX} = Q_{MÉD} \times k1 \times k2 \times k4$$

**Equação 14**

$$Q_{\text{MÍN}} = Q_{\text{MÉD}} \times k3$$

*Equação 15*

As premissas acima resultaram nos valores, apresentados no quadro a seguir, que foram utilizados nas simulações hidráulicas.

**Quadro 11 – Estimativa de vazões para modelagem do Setor Ermelino**

| <b>Zona de pressão</b> | <b>Subsetor projetado</b> | <b>Extensão [m]</b> | <b>Volume micromedido [m<sup>3</sup>/mês]</b> | <b>Q<sub>MÉD</sub> [m<sup>3</sup>/h]</b> | <b>Q<sub>MÁX</sub> [m<sup>3</sup>/h]</b> | <b>Q<sub>MÍN</sub> [m<sup>3</sup>/h]</b> |
|------------------------|---------------------------|---------------------|---|--|--|--|
| ZB                     | São Miguel                | 27.880              | 45.121  | <b>62,67</b>                             | <b>180,48</b>                            | <b>31,33</b>                             |
| ZB                     | Antonio Siqueira          | 8.167               | 15.219  | <b>21,14</b>                             | <b>60,88</b>                             | <b>10,57</b>                             |
| ZA                     | Dona Ana Flora            | 17.931              | 19.112  | <b>26,54</b>                             | <b>76,45</b>                             | <b>13,27</b>                             |
| ZA                     | Pedro Viviani             | 12.956              | 21.628  | <b>30,04</b>                             | <b>86,51</b>                             | <b>15,02</b>                             |
| ZA                     | Nordestina                | 53.855              | 58.124  | <b>80,73</b>                             | <b>232,50</b>                            | <b>40,36</b>                             |

As figuras a seguir apresentam, respectivamente, os novos subsectores propostos, o resultado da simulação hidráulica desses subsectores para as vazões máximas e o resultado da simulação hidráulica desses subsectores para as vazões mínimas.

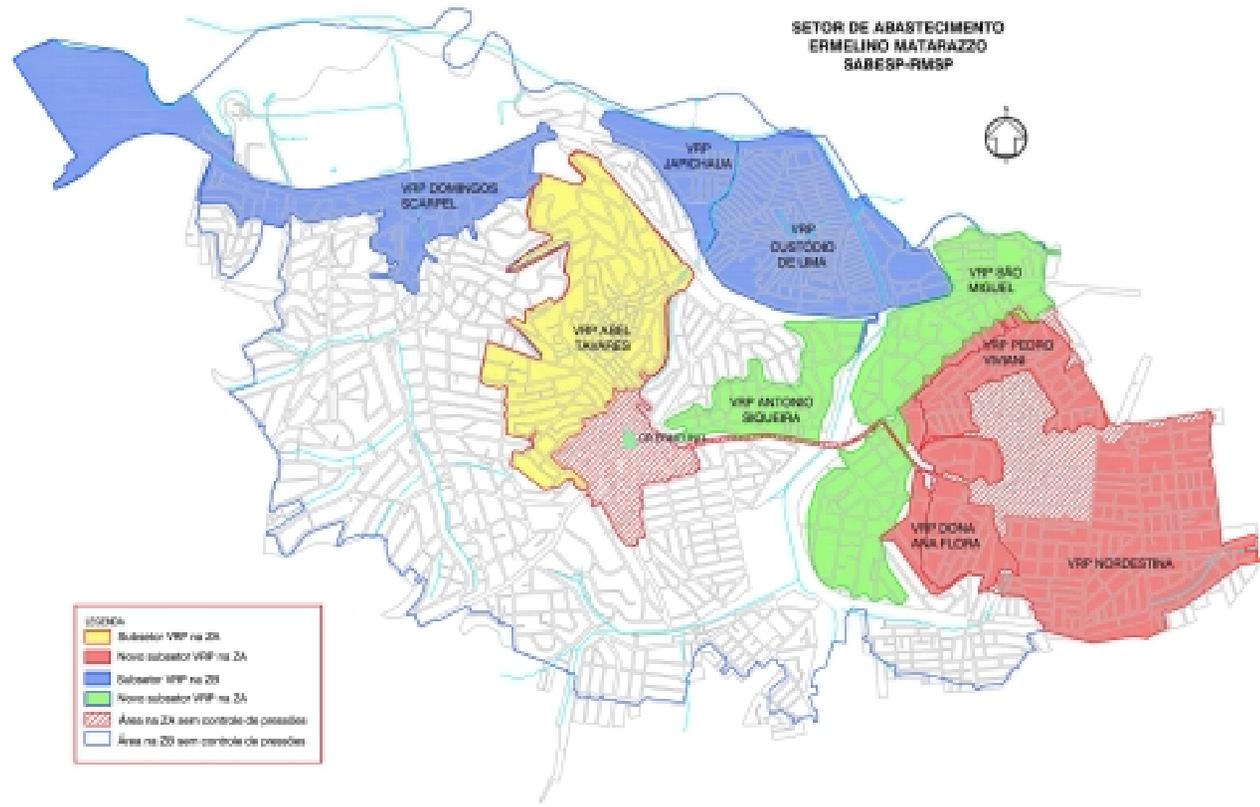


Figura 41 – Proposta para novos subsectores controlados por VRPs no Setor Ermelino

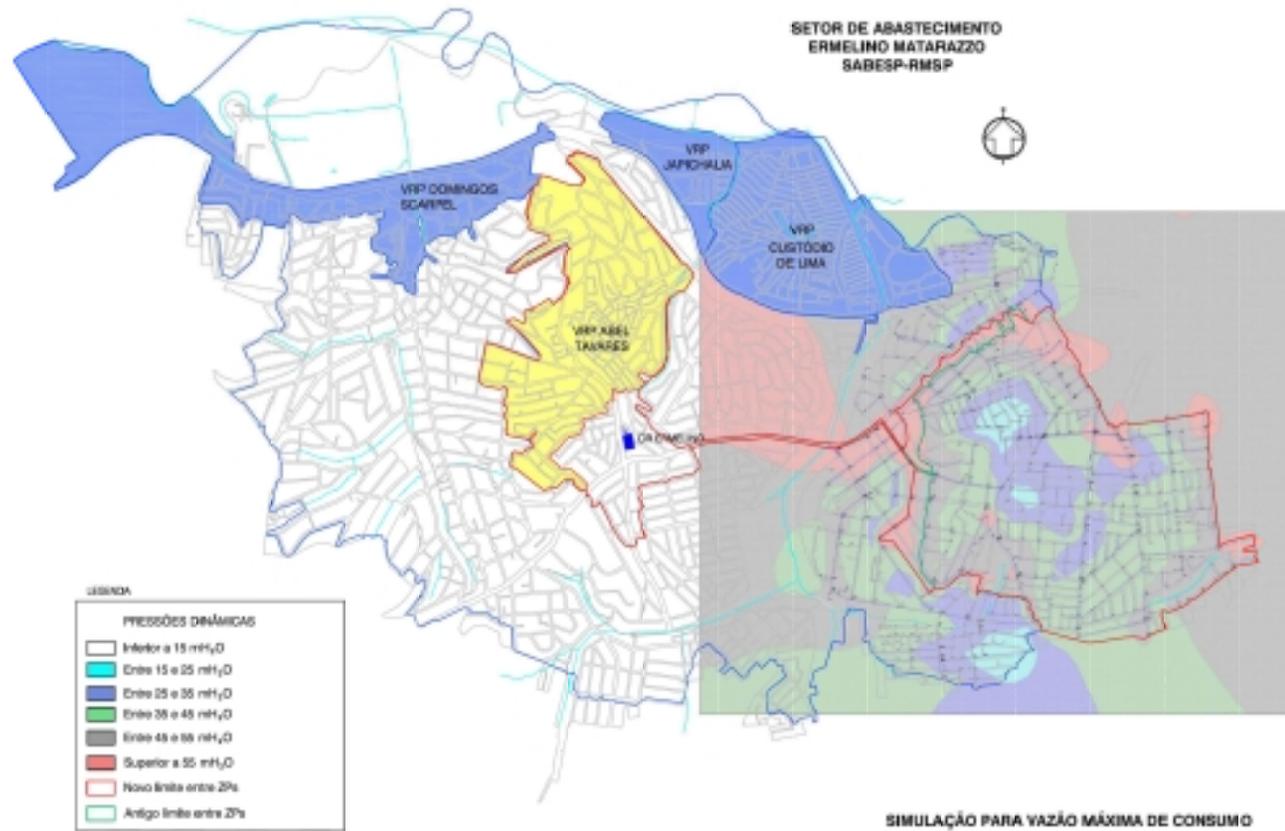


Figura 42 – Simulação hidráulica para vazão máxima no Setor Ermelino

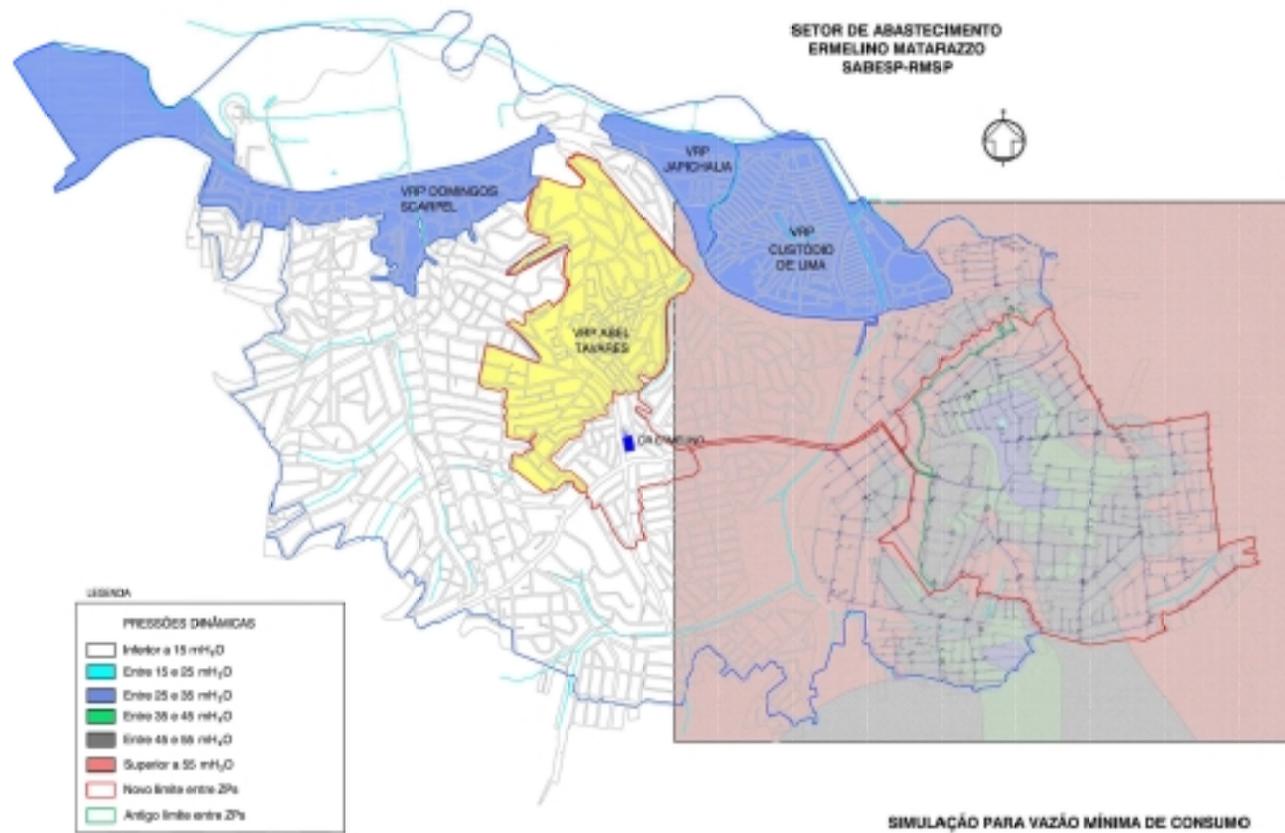


Figura 43 – Simulação hidráulica para vazão mínima no Setor Ermelino

Observando os resultados obtidos nas simulações, concluiu-se ser viável a instalação das válvulas redutoras de pressão com os limites propostos de subsetores.

As simulações mostraram que não haveria prejuízos ao abastecimento nem internamente nem externamente aos subsetores propostos. Para o caso mais desfavorável que é o de vazões máximas de consumo, as cargas piezométricas nas áreas internas mantiveram-se elevadas em todos os subsetores variando de 25 mH<sub>2</sub>O a valores superiores a 55 mH<sub>2</sub>O. Esses valores já permitem quebras de superiores a 15 mH<sub>2</sub>O em todo o plano piezométrico que é uma redução bastante significativa.

Após as confirmações obtidas nas análises de campo e no modelo matemático partiu-se para a implantação física dos subsetores e a análise dos resultados alcançados na redução de perdas reais nessas áreas.

#### **4.1.4 Medições, implantação e resultados do controle de pressões**

Para cada um dos subsetores efetuaram as manobras necessárias para seu isolamento e garantia de sua estanqueidade. Após todos os testes de campo certificou-se de que não havia impedimento nenhum para a implantação das cinco áreas planejadas.

Como todas as áreas apresentaram condições favoráveis tanto em campo quanto na modelagem matemática, a partir do isolamento de todos os subsetores, já se iniciaram as obras de instalação dos conjuntos redutores de pressão sem a etapa inicial de medições de vazão e pressão nas entradas de cada um.

Os dimensionamentos dos conjuntos válvulas, medidores e filtro seguiram o mesmo critério adotado para as simulações hidráulicas.

Após instalado cada um dos conjuntos promoveram-se as medições de vazão e pressão necessárias para avaliação do benefício gerado pelo controle de pressões.

A primeira campanha consistiu na medição de vazões e pressões na entrada dos subsetores e pressões nos pontos críticos durante um período de sete dias consecutivos com a VRP totalmente aberta.

A segunda campanha, com a mesma duração da primeira, consistiu nas medições dos mesmos pontos com a VRP regulada com pressão de saída fixa para manutenção das cargas piezométricas mínimas nos pontos críticos variando entre 10 mH<sub>2</sub>O e 15 mH<sub>2</sub>O durante os picos de consumo.

Para cada um dos subsetores é apresentado a seguir um resumo dos resultados obtidos nas campanhas de medição.

#### *4.1.4.1 Subsetor VRP Pedro Viviani*

Para a primeira etapa de medições, no ponto de entrada na Rua Pedro Viviani, os valores limites de carga piezométrica média horária obtidos indicaram uma condição média máxima e mínima de, respectivamente, 45 mH<sub>2</sub>O e 28 mH<sub>2</sub>O. No ponto mais crítico dessa área, a variação foi de 41 a 24 mH<sub>2</sub>O.

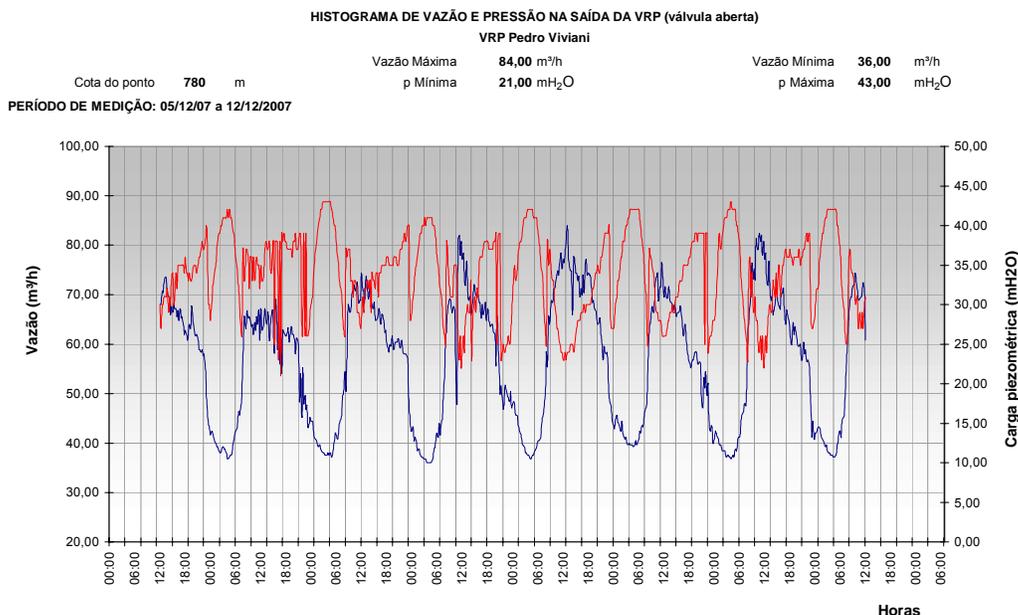
A vazão média na entrada variou de 82 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 38 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima, isso significa que a vazão mínima noturna corresponde a 46% da vazão máxima, o que indica que existem grandes perdas no subsetor.

Dadas as condições encontradas optou-se pela utilização do controle fixo de pressões, mantendo-se o valor constante de 18 mH<sub>2</sub>O a jusante da válvula, tal carga piezométrica seria suficiente para manter o ponto crítico com pressões mínimas de 10 a 15 mH<sub>2</sub>O.

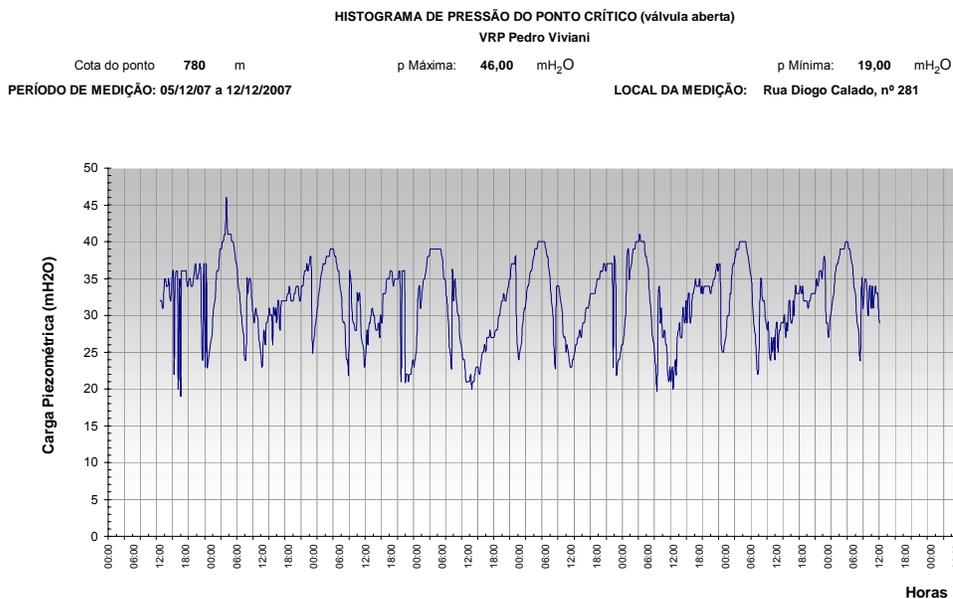
Após ajuste iniciou-se a segunda etapa de medições com a válvula em operação, a carga piezométrica no ponto de entrada passou a valores médios horários em torno de 18 mH<sub>2</sub>O, mantendo o PC com média de 14 mH<sub>2</sub>O ao longo de todo o dia. A vazão de entrada variou de 73 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 11 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima.

Os gráficos a seguir apresentam as medições de vazão e pressão realizadas nas duas campanhas e a análise comparativa das vazões antes e depois da redução de pressões.

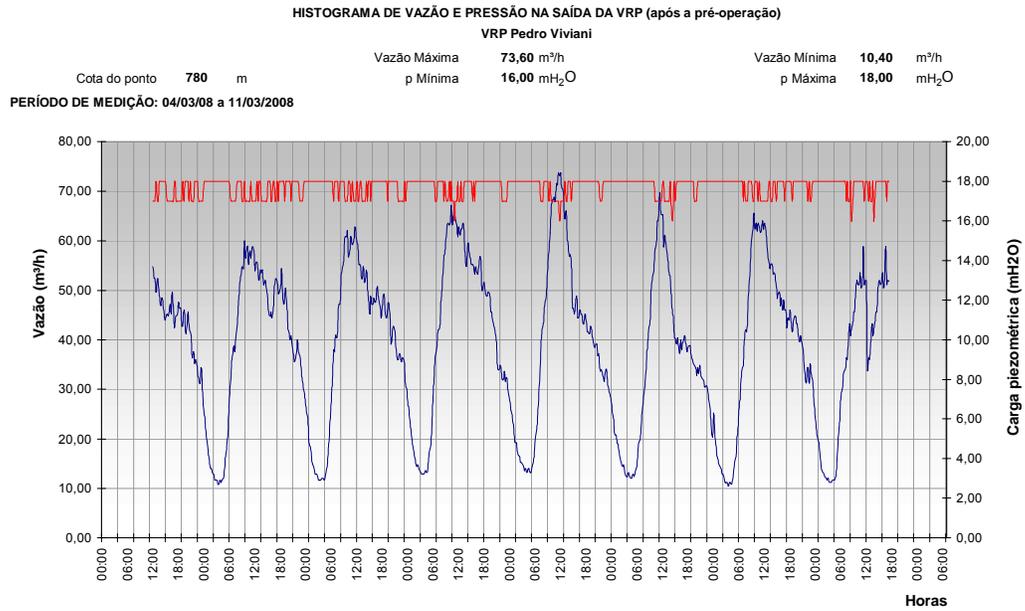
**Gráfico 1 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Pedro Viviani**



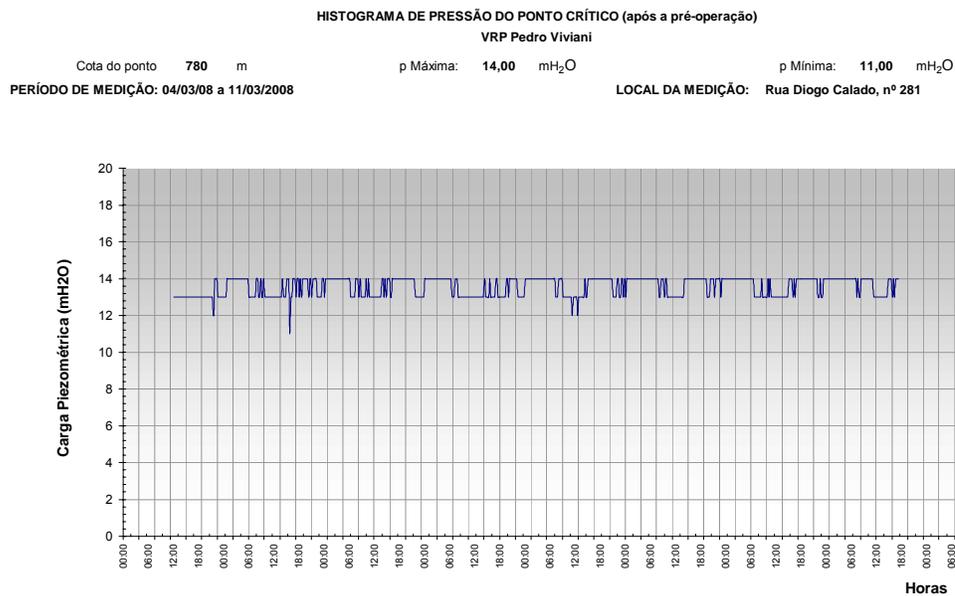
**Gráfico 2 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP Pedro Viviani**

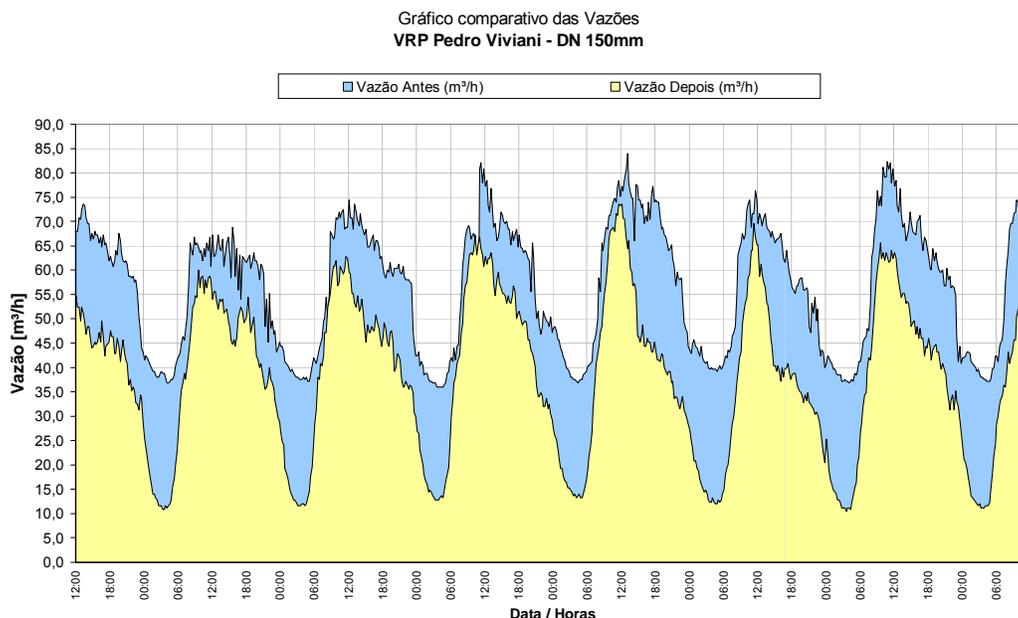


**Gráfico 3 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Pedro Viviani**



**Gráfico 4 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Pedro Viviani**



**Gráfico 5 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Pedro Viviani**

Quando analisados os gráficos 1 e 2, o que se observa é que, nas condições normais de operação sem válvula, as pressões na distribuição oscilam bastante e não apresentam um padrão definido. Essa condição irregular na distribuição é bastante indesejada pois as grandes oscilações de pressão danificam as infraestruturas instaladas e facilitam o surgimento de vazamentos.

Após o início da operação da válvula com saída fixa, gráficos 3 e 4, nota-se imediatamente que as pressões na distribuição permaneceram estáveis ao longo de todo o tempo, o que já é um benefício interessante promovido pela válvula.

O reflexo da estabilização e redução das pressões é facilmente observado na redução dos volumes fornecidos. O gráfico 5 evidencia a grande redução nas vazões de abastecimento especialmente da vazão mínima noturna.

Esta válvula obteve uma economia média de 17 m³/h o que corresponde a uma redução de 30% no volume fornecido ao subsetor.

#### 4.1.4.2 Subsetor VRP Dona Ana Flora

A medição inicial nesse subsetor resultou em valores de cargas piezométricas médias horárias máxima e mínima de, respectivamente, 60 mH<sub>2</sub>O e 40 mH<sub>2</sub>O. A vazão de entrada variou de 75 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 33 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima. No ponto mais crítico a variação foi entre 43 a 25 mH<sub>2</sub>O.

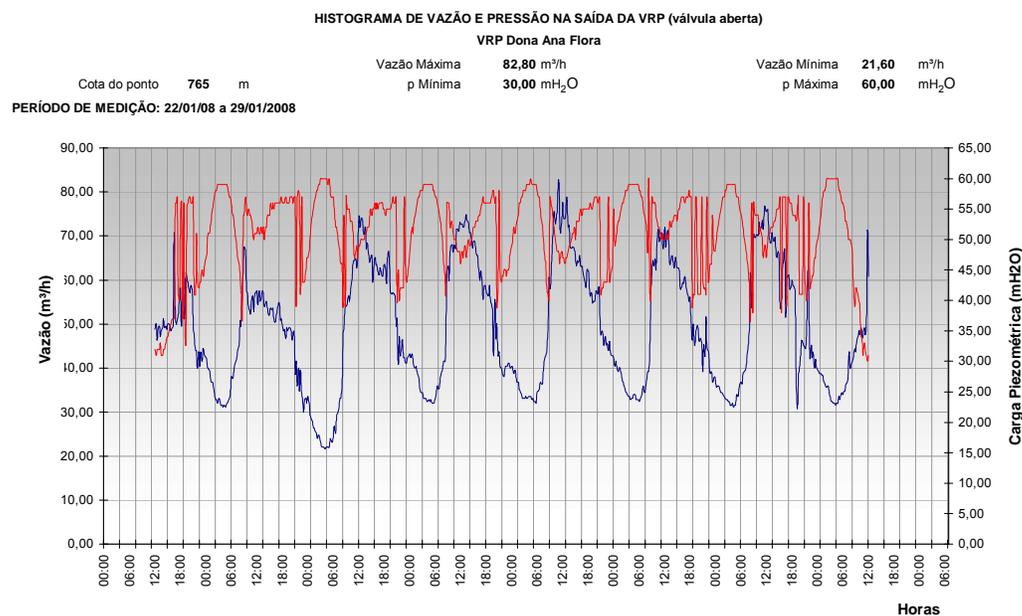
A relação entre a vazão máxima e mínima noturna é de 45%, o que também indica que existem grandes perdas no subsetor.

As medições iniciais indicaram que a válvula poderia operar com saída fixa de 31 mH<sub>2</sub>O de forma a atender o ponto crítico com uma carga piezométrica mínima de 15 mH<sub>2</sub>O.

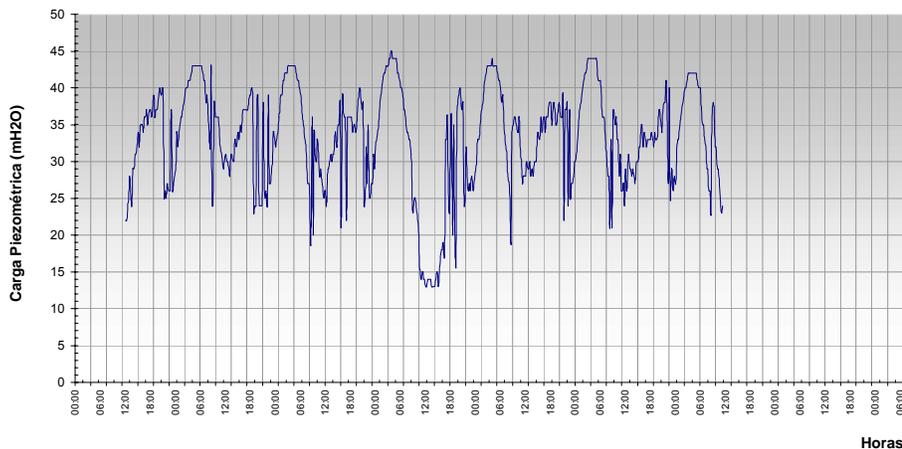
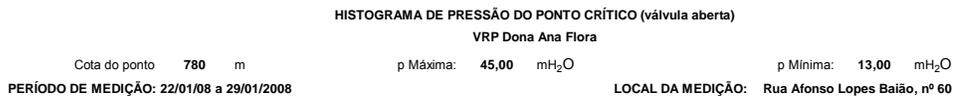
Com esse ajuste iniciou-se a segunda etapa de medições com a válvula em operação. Dessa forma, a vazão de entrada variou de 71 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 21 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima.

Os gráficos a seguir apresentam as medições de vazão e pressão realizadas nas duas campanhas e a análise comparativa das vazões antes e depois da redução de pressões.

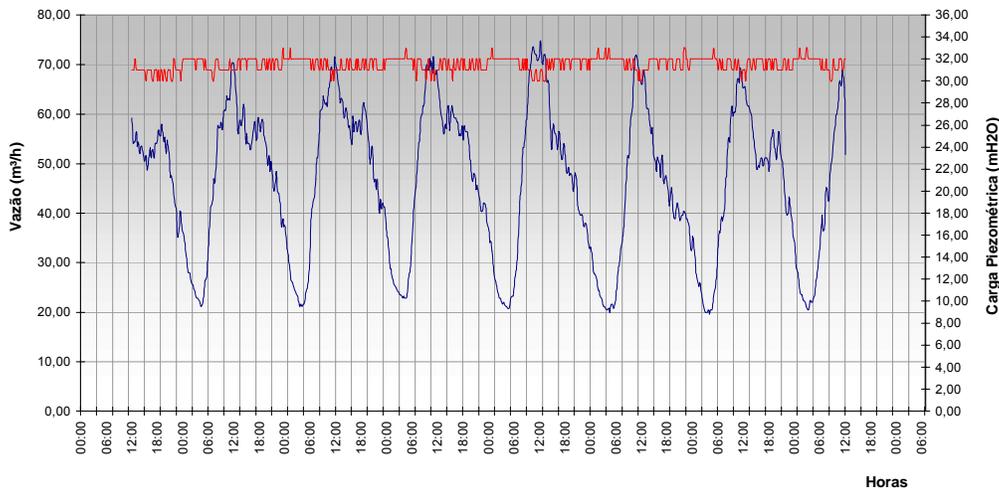
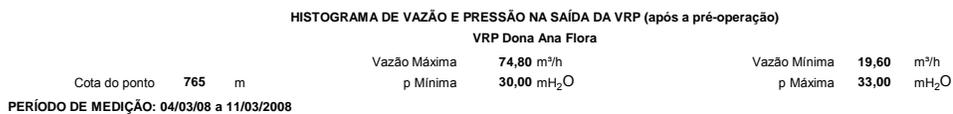
**Gráfico 6 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Dona Ana Flora**



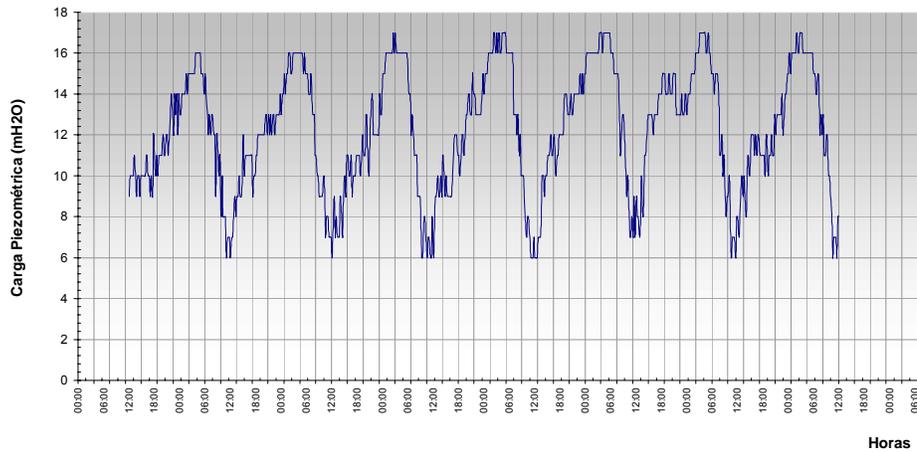
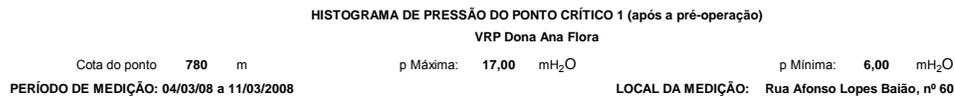
**Gráfico 7 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP Dona Ana Flora**



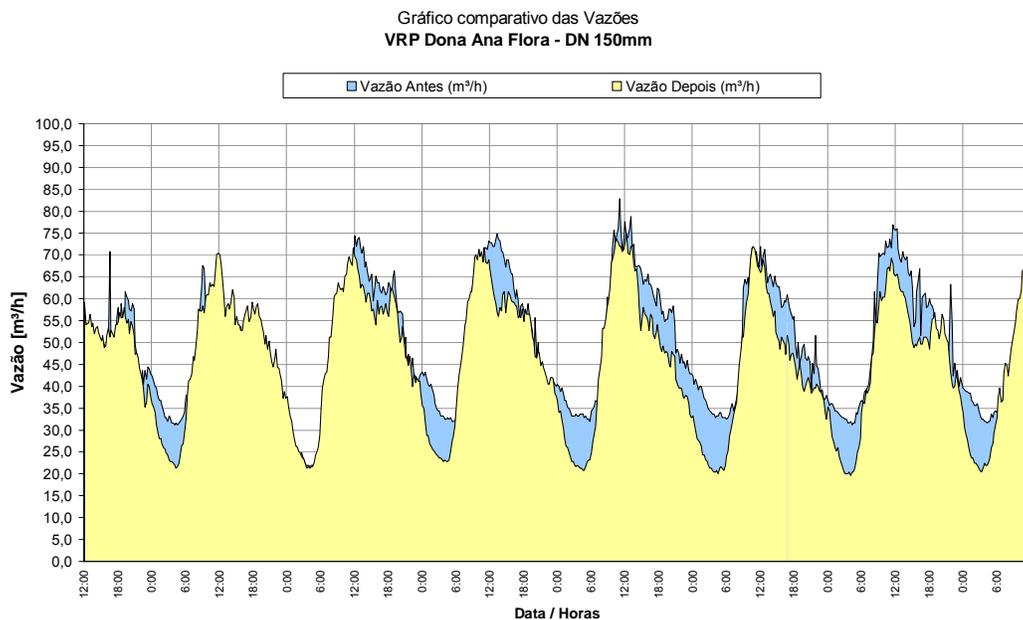
**Gráfico 8 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Dona Ana Flora**



**Gráfico 9 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Dona Ana Flora**



**Gráfico 10 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Dona Ana Flora**



Quando analisados os gráficos 6 a 10 do subsetor, observa-se que não houve uma redução importante na vazão máxima embora a vazão mínima tenha sido reduzida em quase 30%. O ponto crítico não teve um comportamento satisfatório, as cargas

piezométricas estiveram abaixo das pressões mínimas estabelecidas durante os picos de consumo. Esperava-se, nesse, variações entre 15 e 30 mH<sub>2</sub>O.

Essa distorção de resultados pode ter sido causada por um arrebitamento de rede não detectado. Com a válvula restringindo a vazão na entrada, o arrebitamento provocou o aumento da demanda interna. Assim, a mesma vazão anterior ao controle passou pela válvula em operação o que causou uma perda de carga maior. Isso justifica a manutenção das vazões máximas nos mesmos patamares das encontradas antes do controle de pressões e explica as baixas pressões no ponto crítico.

Isto é, o arrebitamento deveria ter aumentado a vazão de entrada no subsetor que não foi possível devido à restrição imposta pela válvula, assim gerou-se uma demanda reprimida nas horas de maior consumo que acabou refletindo no ponto crítico.

Isto posto, pode-se concluir que após o reparo dos vazamentos a tendência é de que as vazões sejam reduzidas. Especialmente a vazão mínima noturna que, mesmo nas condições de rede arrebitada, teve uma redução de 30% em volume e pode alcançar reduções ainda mais expressivas.

O reparo de vazamento é uma ação complementar à redução de pressões e novas medições após os reparos atribuiriam reduções de perdas ainda maiores e não decorrentes da quebra de pressões.

Portanto, entende-se que para a finalidade desse estudo, a redução de pressões comprovou sua eficiência na redução das vazões de perdas reais e não foram realizadas novas medições após o reparo dos vazamentos.

De forma semelhante ao subsetor da VRP Pedro Viviani, as de pressões na distribuição oscilam bastante, conforme apresentado nos gráficos 6 e 7.

Após o início da operação da válvula com saída fixa (gráficos 8 e 9), as pressões na entrada se estabilizaram e o ponto crítico passou a ter oscilações padronizadas diferentemente da situação anterior ao controle, embora a oscilação da pressão no PC ainda tenha sido grande em função do arrebitamento de rede.

O gráfico 10 mostra a redução nas vazões de abastecimento obtidas após o controle de pressões que é mais facilmente notada na comparação entre as vazões mínimas noturnas.

Esta válvula obteve uma economia média de 4 m<sup>3</sup>/h o que corresponde a uma redução de 8% no volume fornecido ao subsetor.

#### *4.1.4.3 Subsetor VRP Nordestina*

O subsetor da VRP Nordestina foi planejado para cobrir uma extensão aproximada de 54 km de rede e seus limites definidos conforme a figura 42, para a total implantação do subsetor eram necessárias interligações de redes que foram previstas nos modelos hidráulicos da rede para melhoria na distribuição e atendimento aos pontos críticos com pressões satisfatórias.

À época da implantação da válvula, a Sabesp optou por não executar as interligações previstas e fazê-las em uma segunda etapa de operação. Dessa forma, a extensão de rede reduziu-se a 37 km. Também não foram efetuadas medições nos pontos críticos pois estes seriam reposicionados após as obras complementares.

Assim, realizaram-se as medições com o setor reduzido e na primeira campanha de medições, no ponto de entrada na Avenida Nordestina, os valores limites de carga piezométrica média horária obtidos indicaram uma condição média máxima e mínima de, respectivamente, 43 mH<sub>2</sub>O e 25 mH<sub>2</sub>O.

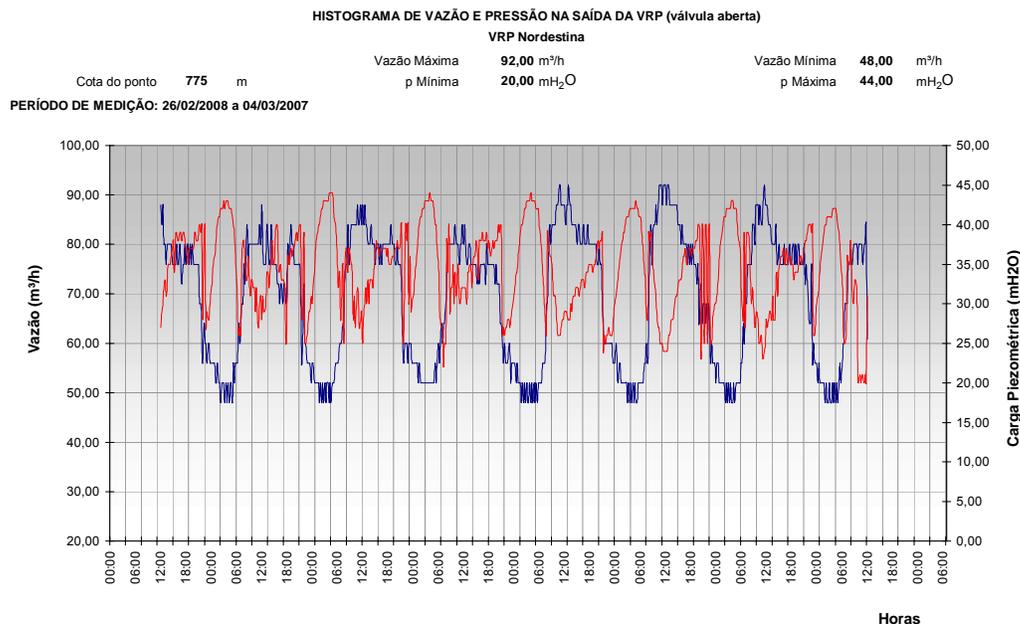
A vazão média na entrada variou de 89 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 49 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima, isso significa que a vazão mínima noturna corresponde a 54% da vazão máxima, o que indica que existem grandes perdas no subsetor.

Dadas as condições encontradas optou-se pela utilização do controle fixo de pressões, mantendo-se o valor médio de 22 mH<sub>2</sub>O a jusante da válvula.

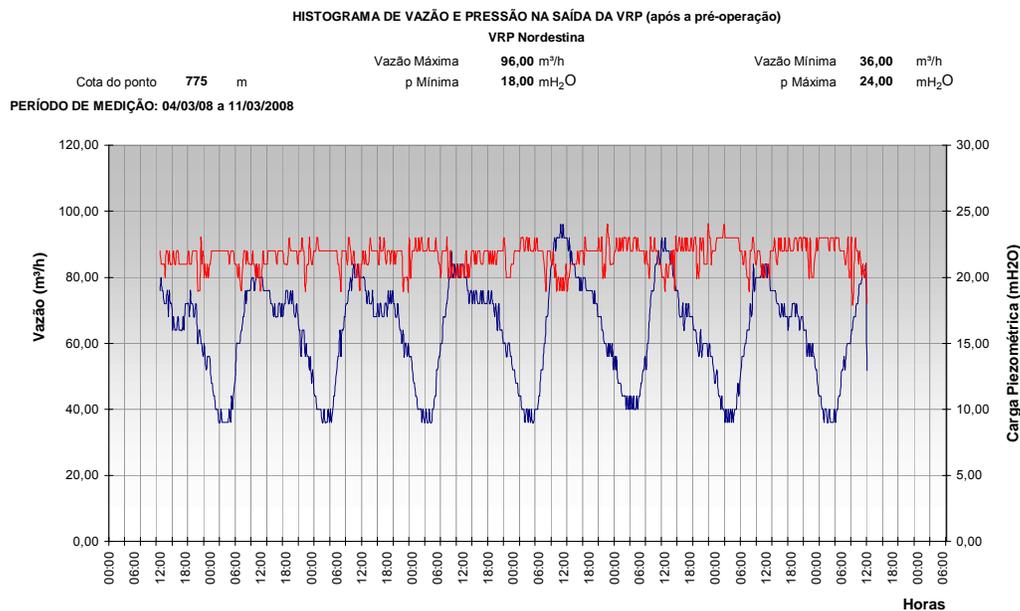
Após ajuste iniciou-se a segunda etapa de medições com a válvula em operação, o ponto de entrada passou a valores de carga piezométrica média horária fixa em torno de 22 mH<sub>2</sub>O com a vazão média de entrada variando de 86 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 36 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima.

Os gráficos a seguir apresentam as medições realizadas nas duas etapas das campanhas e a análise comparativa entre as vazões antes e depois do controle.

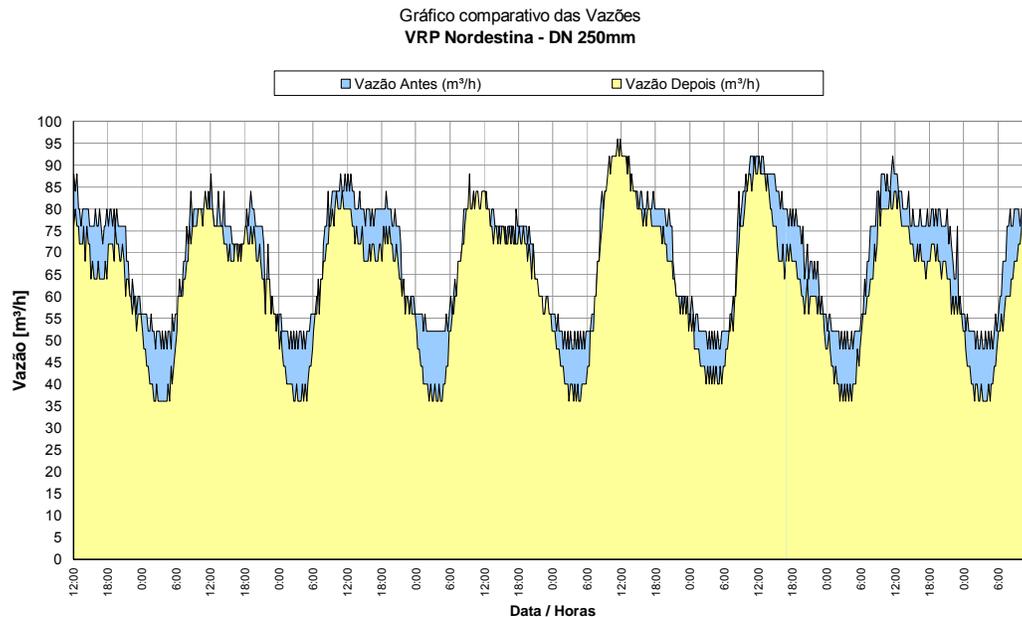
**Gráfico 11 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Nordeste**



**Gráfico 12 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Nordeste**



**Gráfico 13 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Nordestina**



O gráfico 11 refere-se à medição na entrada do subsetor nas condições normais de abastecimento, as pressões na distribuição também demonstram grande oscilação, o que é uma característica comum a toda zona alta do setor.

Após o início da operação da válvula com saída fixa (gráfico 12), as pressões a jusante da válvula tenderam a estabilizar-se embora oscilassem mais do que o normal para válvulas com saída fixa.

A VRP foi dimensionada para atender uma área maior e conseqüentemente uma vazão maior. Como o subsetor foi parcialmente implantado, a válvula esteve ligeiramente superdimensionada causando uma regulação menos estável.

Mesmo com uma operação parcial, os resultados obtidos já são notados no gráfico 13, no qual notadamente houve um ganho mais expressivo na redução da vazão mínima noturna.

Na condição de operação parcial, A VRP Nordestina apresentou uma economia média de 6 m³/h o que corresponde a uma redução de 8% no volume fornecido ao subsetor.

Esse valores podem ser mais expressivos quando realizadas as interligações para melhoria da distribuição e ampliação do subsetor.

#### 4.1.4.4 Subsetor VRP São Miguel

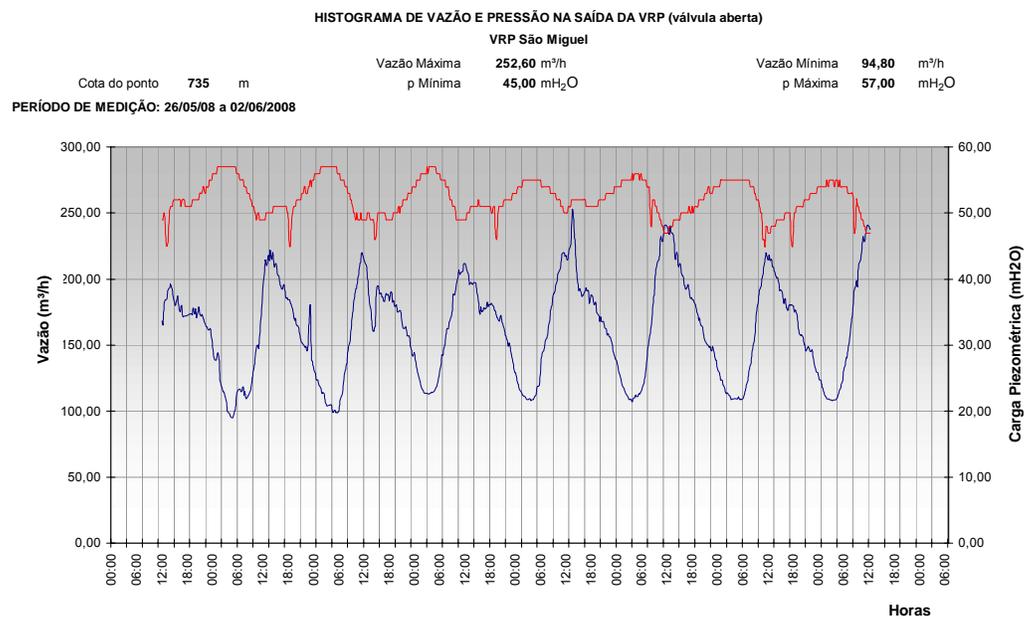
Para a primeira etapa de medições, no ponto de entrada na Avenida São Miguel, os valores limites de carga piezométrica média horária obtidos indicam uma condição máxima e mínima de, respectivamente, 57 mH<sub>2</sub>O e 46 mH<sub>2</sub>O. No ponto mais crítico dessa área, a variação foi de 33 a 23 mH<sub>2</sub>O.

A vazão média na entrada variou de 230 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 105 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima. Mais uma vez se observa que a relação entre as vazões máximas e mínimas é elevada (a vazão mínima corresponde a 47% da máxima) o que sugere a ocorrências de perdas reais altas no subsetor.

Com base no ponto crítico definiu-se uma quebra de aproximadamente 10 mH<sub>2</sub>O na válvula que passou a operar com saída fixa em torno de 38 mH<sub>2</sub>O. Nessas condições, a vazão de entrada variou de 210 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, 94 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima. O ponto crítico oscilou entre 12 e 16 mH<sub>2</sub>O.

Os gráficos a seguir apresentam as medições de vazão e pressão realizadas nas duas campanhas e a análise comparativa das vazões antes e depois da redução de pressões.

**Gráfico 14 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP São Miguel**

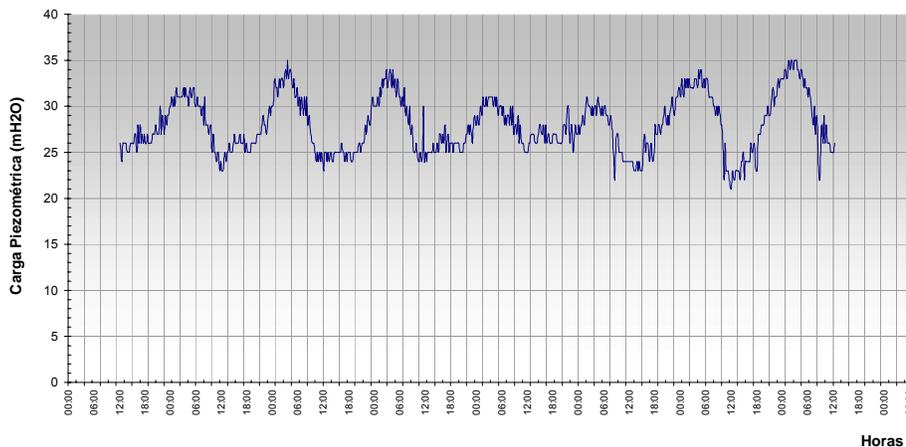


**Gráfico 15 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP São Miguel**

HISTOGRAMA DE PRESSÃO DO PONTO CRÍTICO (válvula aberta)  
 VRP São Miguel

Cota do ponto 760 m      p Máxima: 35,00 mH<sub>2</sub>O      p Mínima: 21,00 mH<sub>2</sub>O

PERÍODO DE MEDIÇÃO: 26/05/08 a 02/06/2008      LOCAL DA MEDIÇÃO: Rua Cel. Manuel Feliciano, nº432

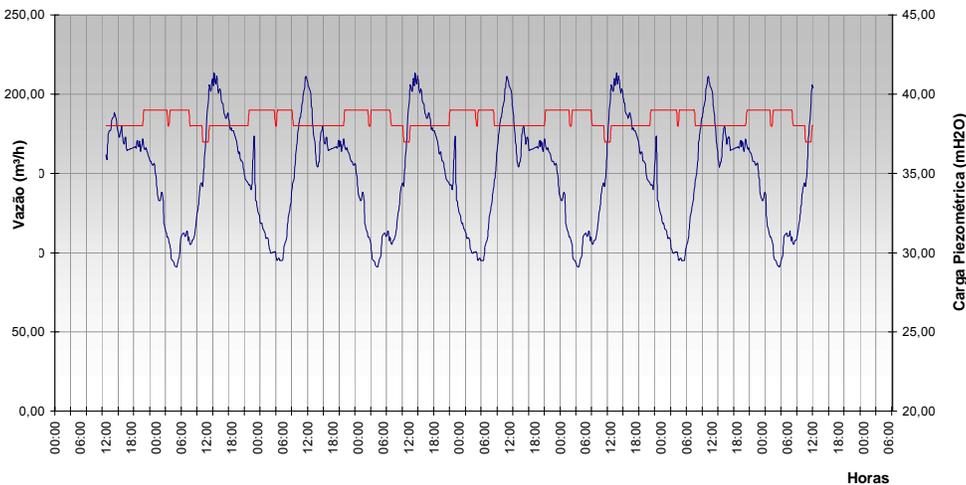


**Gráfico 16 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP São Miguel**

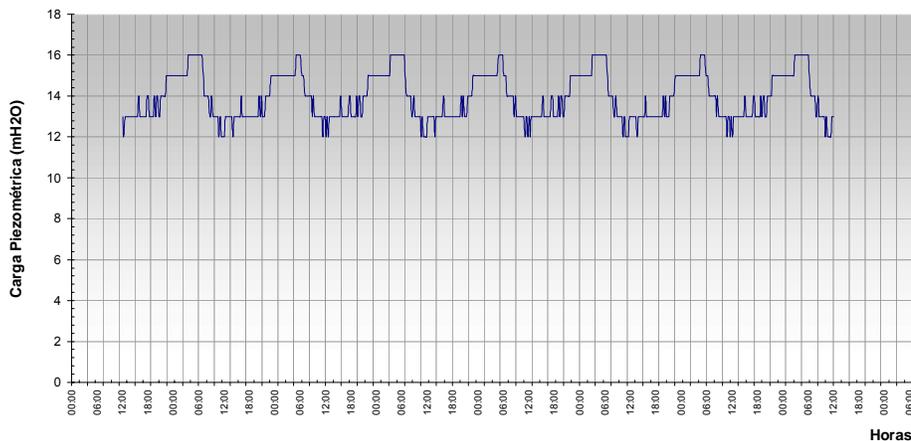
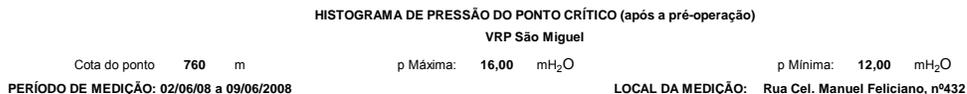
HISTOGRAMA DE VAZÃO E PRESSÃO NA SAÍDA DA VRP (após a pré-operação)  
 VRP São Miguel

Cota do ponto 735 m      Vazão Máxima 213,21 m<sup>3</sup>/h      Vazão Mínima 91,05 m<sup>3</sup>/h  
 p Mínima 37,00 mH<sub>2</sub>O      p Máxima 39,00 mH<sub>2</sub>O

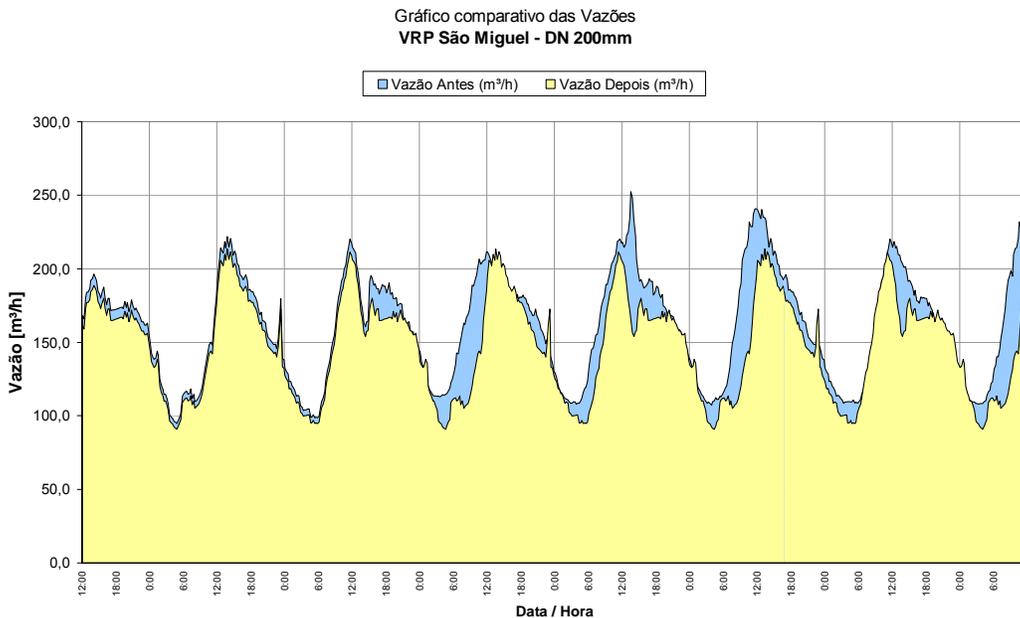
PERÍODO DE MEDIÇÃO: 02/06/08 a 09/06/2008



**Gráfico 17 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP São Miguel**



**Gráfico 18 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP São Miguel**



Os gráficos 14 e 15 referem-se às medições na entrada do subsetor e no ponto crítico nas condições normais de abastecimento. As pressões na distribuição da zona baixa já apresentaram um comportamento estável diferentemente da observada nos subsetores da zona alta.

Após o início da operação da válvula com saída fixa, gráficos 16 e 17, a pressão fixa média de 38 mH<sub>2</sub>O manteve as pressões no ponto crítico variando entre 12 e 16 mH<sub>2</sub>O.

Embora o plano piezométrico tenha sido reduzido em 20 mH<sub>2</sub>O, a redução na vazão de abastecimento não foi muito significativa conforme observadas no gráfico 18.

A vazão média recuperada nesta instalação foi de 5 m<sup>3</sup>/h, que apesar de representar um volume alto, corresponde a apenas uma redução de 3% no volume fornecido ao subsetor.

#### *4.1.4.5 Subsetor VRP Antonio Siqueira*

A medição inicial nesse subsetor resultou em valores de carga piezométrica média horária máxima e mínima de, respectivamente, 40 mH<sub>2</sub>O e 33 mH<sub>2</sub>O. A vazão média de entrada variou de 47 m<sup>3</sup>/h para a vazão máxima, e 10 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima. No ponto mais crítico da área as variações foram de 28 a 21 mH<sub>2</sub>O.

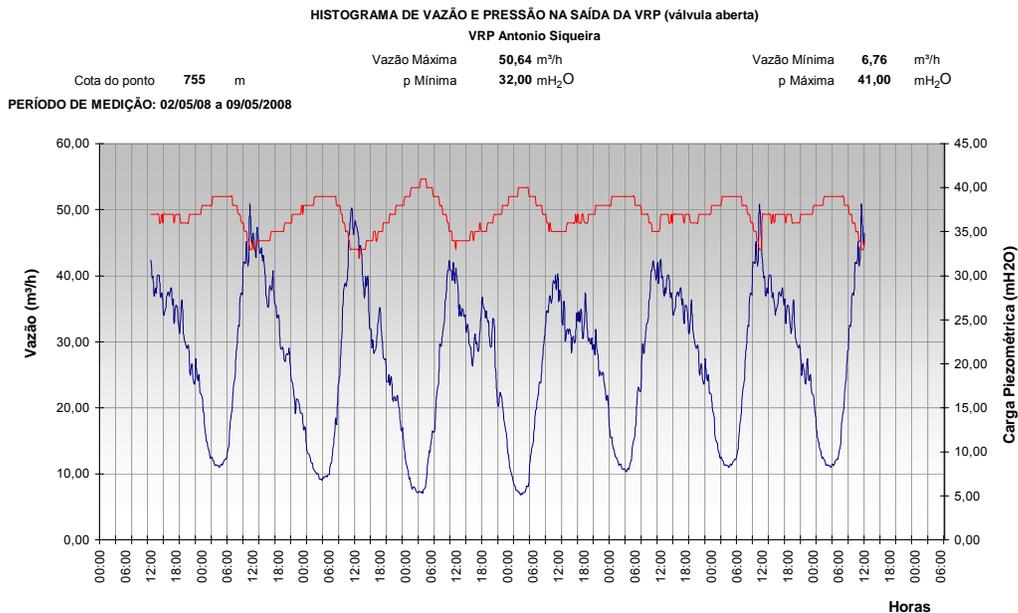
A relação entre a vazão máxima e mínima noturna é de 21%, podendo ser considerado um valor esperado para sistemas com poucas perdas.

Com base nas medições iniciais definiu-se que a carga piezométrica de saída da válvula seria fixa de 25 mH<sub>2</sub>O de forma a atender o ponto crítico com o mínimo aproximado de 15 mH<sub>2</sub>O.

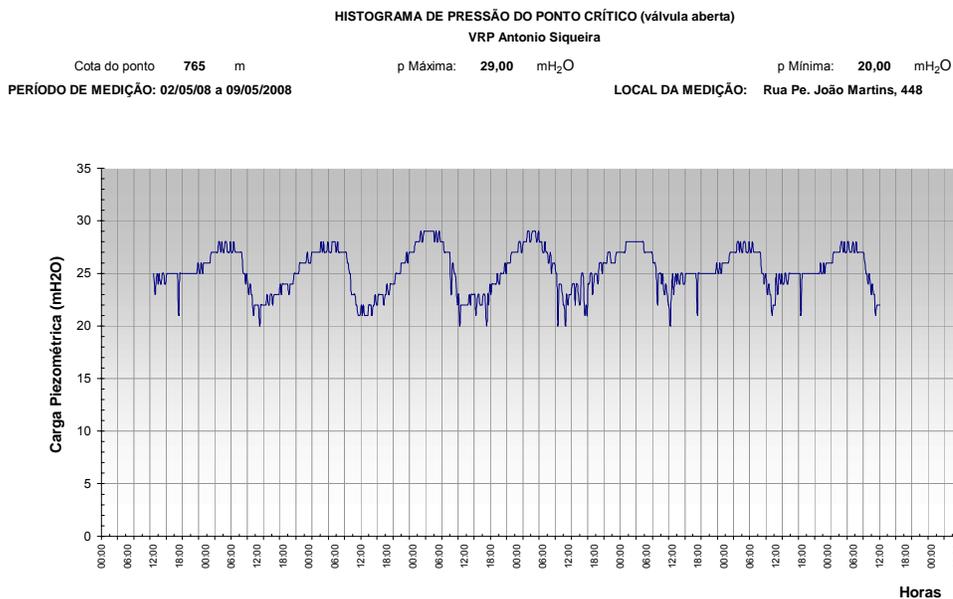
Com esse ajuste iniciou-se a segunda etapa de medições com a válvula em operação. Dessa forma, a vazão de entrada variou de 43 m<sup>3</sup>/h, para a vazão máxima, e 3 m<sup>3</sup>/h para a vazão mínima.

Os gráficos a seguir apresentam as medições de vazão e pressão realizadas nas duas campanhas e a análise comparativa das vazões antes e depois da redução de pressões.

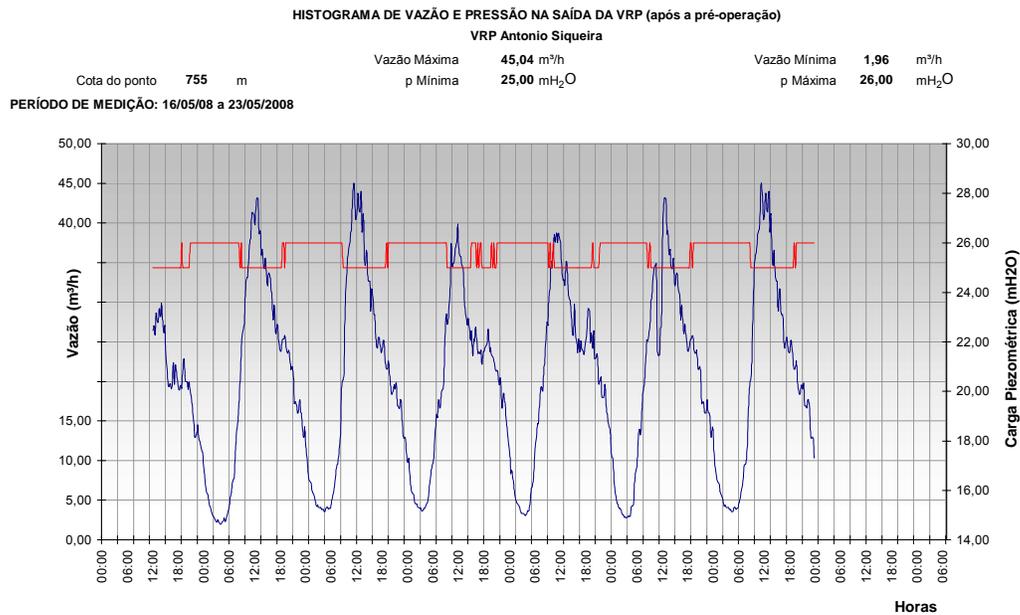
**Gráfico 19 – Vazão e pressão na entrada do subsetor antes da operação da VRP Antonio Siqueira**



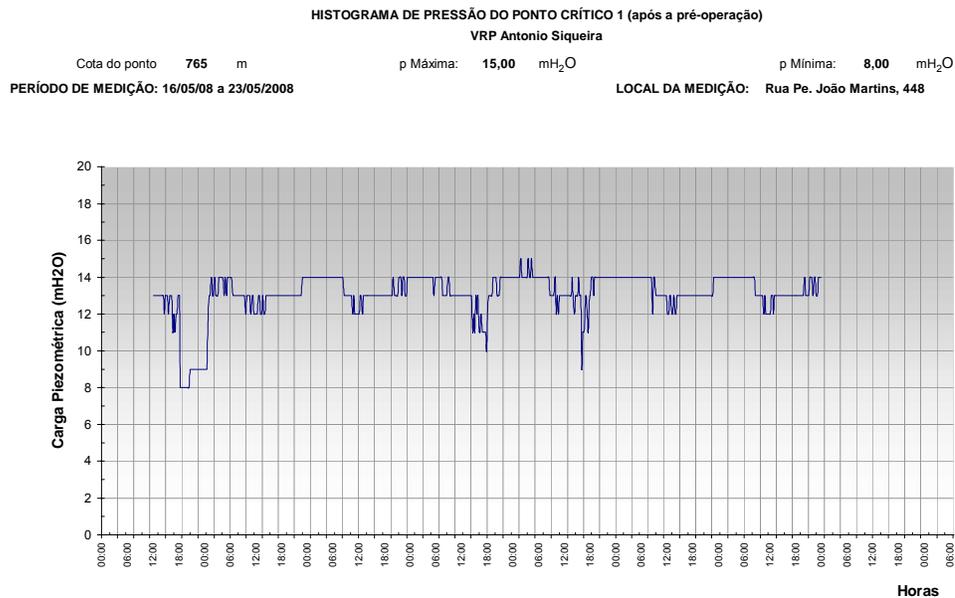
**Gráfico 20 – Pressão no ponto crítico do subsetor antes da operação da VRP Antonio Siqueira**

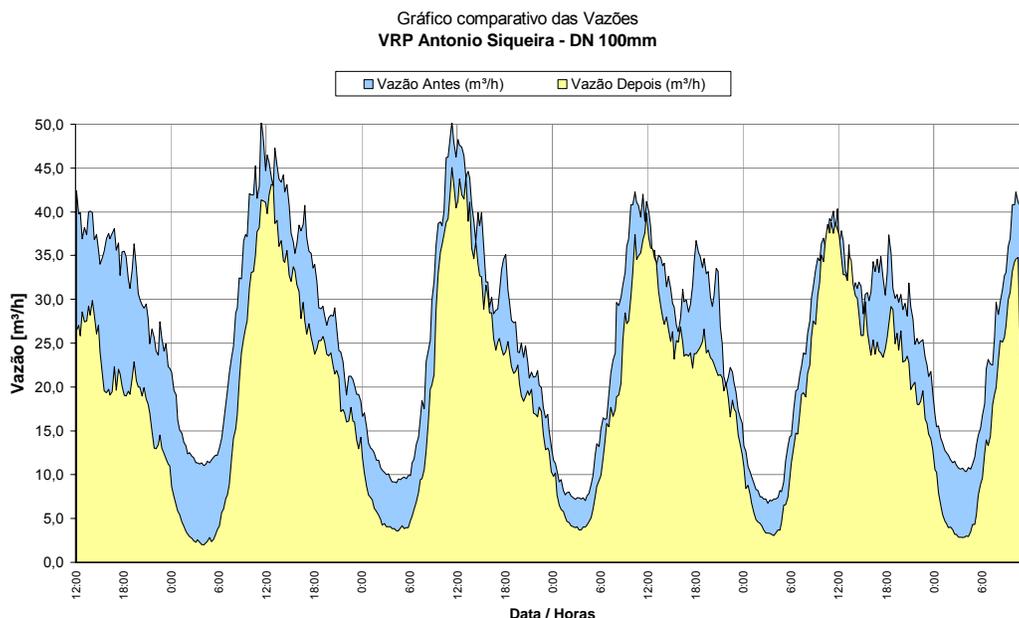


### Gráfico 21 – Vazão e pressão na entrada do subsetor após a operação da VRP Antonio Siqueira



### Gráfico 22 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Antonio Siqueira



**Gráfico 23 – Pressão no ponto crítico do subsetor após a operação da VRP Antonio Siqueira**

Analisados os gráficos 19 e 20, observa-se o mesmo comportamento estável no abastecimento da VRP São Miguel, característico da zona baixa.

Após o início da operação da válvula com saída fixa, gráficos 21 e 22, as pressões no ponto crítico mantiveram-se praticamente constantes ao longo de todo o período.

A redução média no plano piezométrico foi de 10 mH<sub>2</sub>O, suficiente para produzir uma redução nas vazões médias fornecidas de 6 m³/h, o que representa 24% menos volume fornecido ao subsetor.

#### 4.1.5 Consolidação dos resultados

Como balanço geral, todos os subsetores implantados obtiveram os resultados esperados na redução nas vazões após o controle de pressões.

Somadas, as vazões médias fornecidas aos subsetores antes do controle de pressões variavam de 235 m³/h, para a vazão mínima a 489 m³/h para a vazão máxima. Após o controle de pressões essas vazões reduziram-se a 171 m³/h e 443 m³/h, respectivamente. Isso significa uma redução média de 46 m³/h ou 13% no volume total de abastecimento.

Se ponderadas as médias das cargas piezométricas fornecidas ao abastecimento antes e após a implantação dos subsetores controlados, verifica-se que a redução do plano piezométrico foi de 15 mH<sub>2</sub>O passando de 43 mH<sub>2</sub>O para 28 mH<sub>2</sub>O.

O quadro a seguir apresenta o resumo dos resultados obtidos com a ponderação das médias de redução de pressão conforme apresentado no quadro a seguir.

**Quadro 12 – Resultados Estimativa de vazões para modelagem do Setor Ermelino**

| Subsetor de VRP  | Zona de Pressão | Extensão rede coberta [km] | Pressão média na entrada do subsetor [mH <sub>2</sub> O] |                           | Vazão média na entrada do subsetor [m <sup>3</sup> /h] |              |
|------------------|-----------------|----------------------------|--|---------------------------|--|--------------|
|                  |                 |                            | Antes  | Depois                    | Antes  | Depois       |
| Pedro Viviani    | ZA              | 13,0                       | 34,0   | 18,0                      | 57,0   | 40,0         |
| Dona Ana         | ZA              | 17,9                       | 53,0   | 32,0                      | 50,0   | 47,0         |
| Nordestina       | ZA              | 37,9                       | 35,0   | 22,0                      | 69,0   | 64,0         |
| <b>Subtotal</b>  | <b>ZA</b>       | <b>68,8</b>                | <b>39,5<sup>(1)</sup></b>                                | <b>23,9<sup>(1)</sup></b> | <b>176,0</b>   | <b>151,0</b> |
| Antonio Siqueira | ZB              | 8,2                        | 37,0   | 25,5                      | 27,0   | 20,0         |
| São Miguel       | ZB              | 27,9                       | 53,0   | 38,0                      | 163,0  | 149,0        |
| <b>Subtotal</b>  | <b>ZB</b>       | <b>36,0</b>                | <b>49,4<sup>(1)</sup></b>                                | <b>35,2<sup>(1)</sup></b> | <b>190,0</b>   | <b>169,0</b> |
| <b>Total</b>     |                 | <b>104,8</b>               | <b>42,9<sup>(1)</sup></b>                                | <b>27,7<sup>(1)</sup></b> | <b>366,0</b>   | <b>320,0</b> |

<sup>(1)</sup> Médias ponderadas em função da pressão na entrada e da extensão de rede protegida em cada subsetor.

A figura a seguir apresenta a configuração final dos limites dos subsetores em operação na época de conclusão deste estudo.

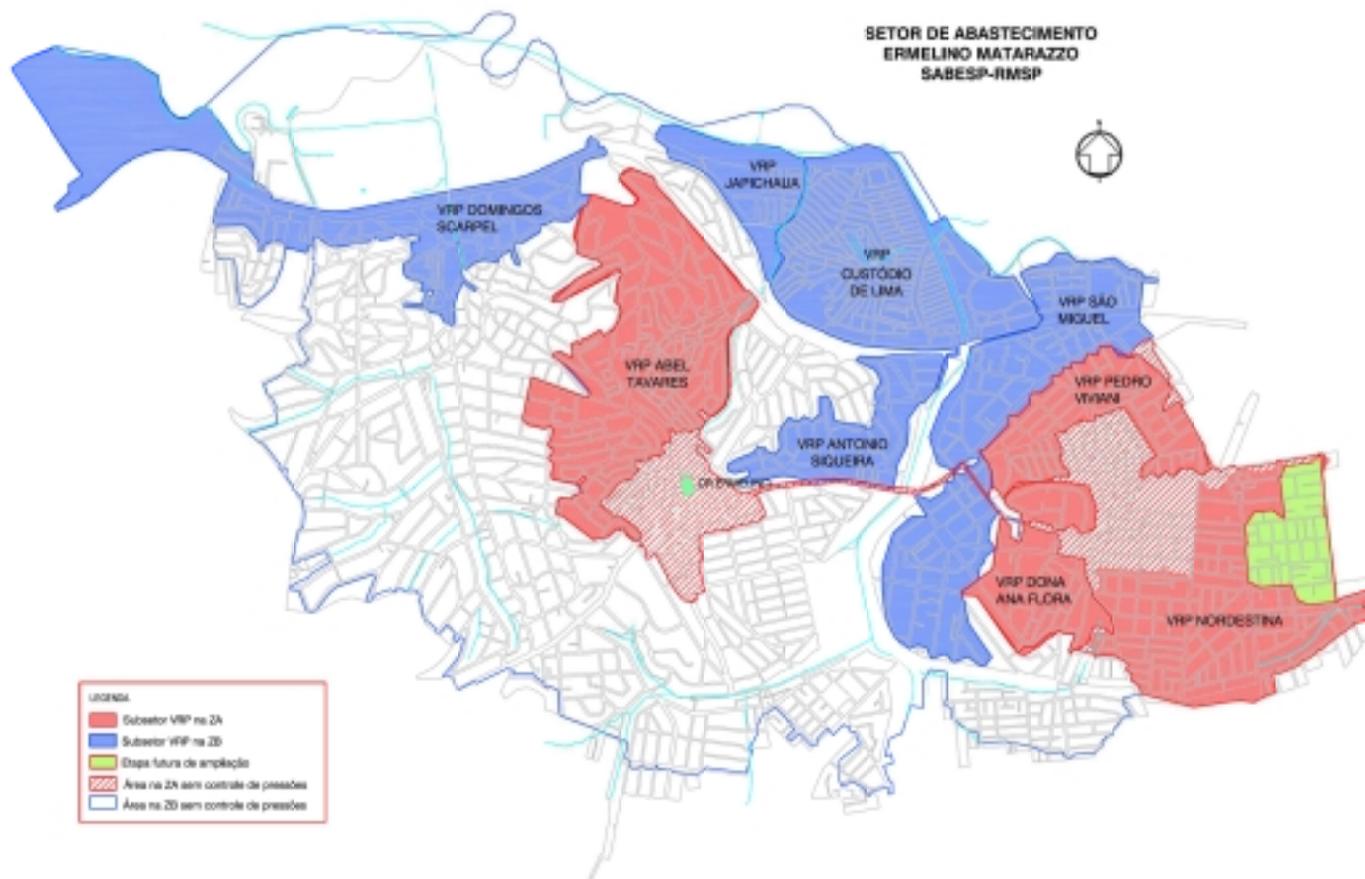


Figura 44 – Configuração final do Setor Ermelino Matarazzo após implantação dos subsetores de VWP (maio de 2008)

## **4.2 SETOR DE ABASTECIMENTO FONTE (ARARAQUARA/SP)**

Os estudos desenvolvidos para o Setor de Abastecimento Fonte, no Município de Araraquara, consistiram na reformulação da setorização existente e estudos teóricos do impacto na redução de perdas que a nova configuração proposta poderia gerar.

O objetivo do estudo foi subdividir o Setor Fonte em tantas áreas quanto possíveis para a criação de microzonas de manobra e de válvulas redutoras de pressão com entradas únicas, configurando dessa forma distritos de medição e controle (DMCs) que facilitassem o controle de perdas e operações de isolamento para manutenções.

Foram analisados todos os elementos gráficos, cadastrais, informações de consumo e vazões fornecidas ao sistema de distribuição no setor, além da realização de uma grande série de medições de vazão e pressão

Com base em toda a informação recolhida e nas medições de campo, puderam ser desenvolvidas as simulações hidráulicas. Essas modelagens foram realizadas para o setor de abastecimento completo incluindo todas as redes primárias, secundárias e peças existentes o que permitiu a montagem e calibração do modelo matemático com bastante fidelidade à realidade do setor.

Após a calibração do modelo hidráulico, foram estudadas as alternativas para subsetorização do Setor Fonte, resultando em proposições de algumas obras para melhoria da distribuição e adequação de limites entre zonas de pressão.

A partir das propostas de subsetorização verificou-se, no modelo matemático, qual o impacto na redução das pressões na distribuição e qual seria o benefício teórico sobre as perdas reais.

Após a finalização das ações de controle de pressões são apresentados os resultados na redução das perdas reais.

### **4.2.1 Caracterização da área de estudo**

O Setor de Abastecimento Fonte localiza-se na região central do Município de Araraquara. O setor caracteriza-se por uma região intensamente urbanizada e

representa quase 25% de todo o consumo de água potável do município. Fisicamente o setor está confinado e não tende a expansões de rede.

O setor é abastecido pelo sistema produtor da ETA Fonte, a qual alimenta um conjunto de reservatórios que atende a três diferentes zonas de pressão.

A Zona Alta (ZA) é abastecida por um único reservatório (R-6) elevado com capacidade nominal de 600m<sup>3</sup> e possui duas saídas principais. A Zona Média é atendida pelo reservatório apoiado (R-23) com capacidade nominal de 5.000 m<sup>3</sup> de onde parte uma única linha principal. A Zona Baixa é atendida por um conjunto de reservatórios enterrados (R-1, R-2, R-9 e R-10) dos quais parte uma única linha que se ramifica para abastecer as zonas baixas 1 e 2.

A figura a seguir ilustra o esquema hidráulico do Centro de Reservação do Setor Fonte.

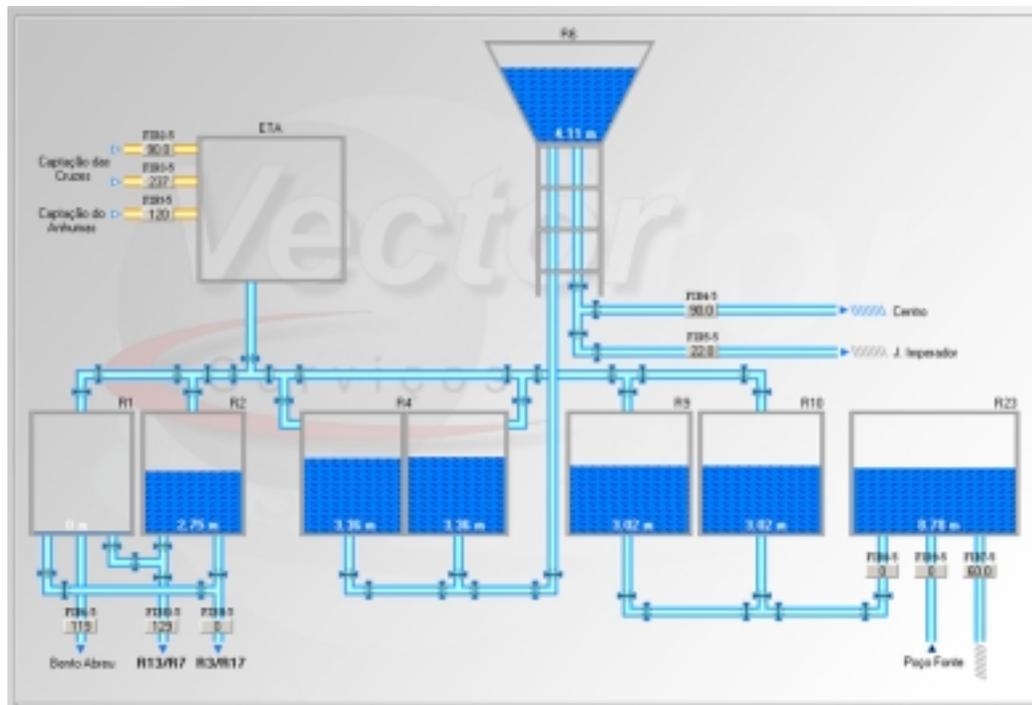


Figura 45 – Esquema hidráulico do Setor Fonte

As cotas da Zona Alta do setor variam de 660 m a 700 m e nível médio operacional do reservatório está na cota 723 m. A diferença entre cotas implica uma variação de pressões estáticas de 23 mH<sub>2</sub>O a 63 mH<sub>2</sub>O.

Na Zona Média as cotas variam de 650 m a 680 m com nível médio do reservatório na cota 707 m, conferindo pressões estáticas de 27 mH<sub>2</sub>O a 57 mH<sub>2</sub>O na distribuição.

Para a Zona Baixa, têm-se cotas variando entre 620 m e 665 m, na Zona Baixa 1 e, cotas entre 645 m e 675 m, na Zona Baixa 2. Os níveis operacionais médios são de 699 m o que confere pressões estáticas ao sistema de 34 mH<sub>2</sub>O a 79 mH<sub>2</sub>O e 24 mH<sub>2</sub>O a 54 mH<sub>2</sub>O, respectivamente.

O quadro a seguir apresenta o resumo dessas características.

**Quadro 13 – Pressões estáticas atuantes por zona de pressão – Setor Fonte**

| Zona de pressão | Nível médio do reservatório [m] | Cotas atendidas [m] |        | Carga Piezométrica Estática [mH <sub>2</sub> O] |       |
|-----------------|---------------------------------|---------------------|--------|---|-------|
|                 |                                 | Mín.                | Máx.   | Mín.  | Máx.  |
| Alta            | 723,00                          | 660,00              | 700,00 | 23,00   | 63,00 |
| Média           | 707,00                          | 650,00              | 680,00 | 27,00   | 57,00 |
| Baixa 1         | 699,00                          | 620,00              | 665,00 | 34,00   | 79,00 |
| Baixa 2         | 699,00                          | 645,00              | 675,00 | 24,00   | 54,00 |

O setor não possui microzonas controladas por válvulas redutoras de pressão ou “boosteres”.

A rede de distribuição existente totaliza 277 km e é bastante heterogênea com diâmetros de tubulações que variam entre 20 mm e 600 mm e diversos materiais: Ferro fundido (FoFo), Ferro Galvanizado (FoGo), Cimento Amianto (CA), PVC, PEAD e aço. Não se dispõe de informação sobre idades dessas redes.

A figura a seguir ilustra a configuração do setor de abastecimento com as zonas de pressão.

SETOR DE ABASTECIMENTO  
FONTE  
DAAE-ARARAQUARA/SP

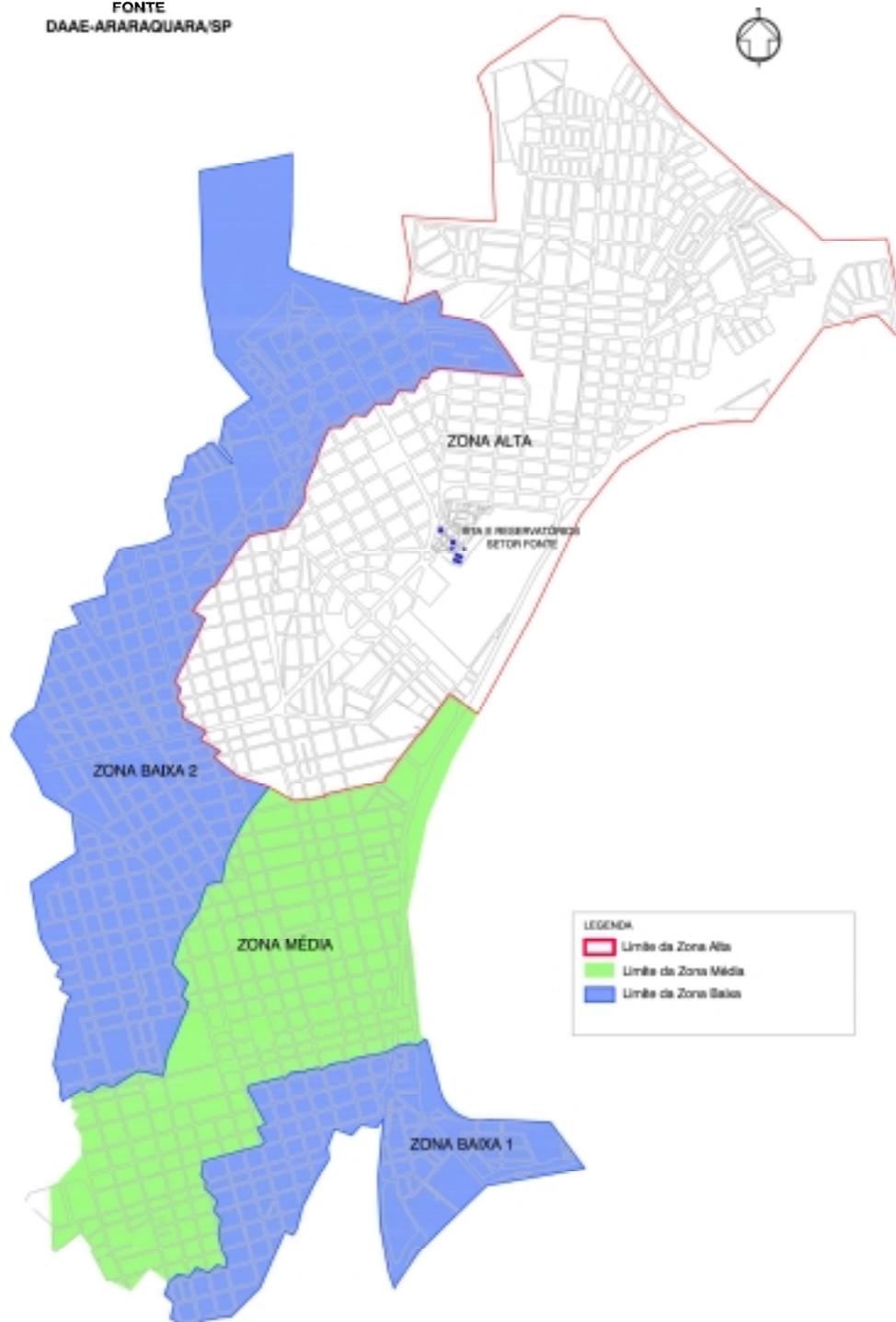


Figura 46 – Zonas de pressão no Setor Fonte antes da nova proposta de setorização (setembro de 2007)

#### 4.2.2 Indicadores operacionais

Conforme os dados fornecidos pelo DAAE Araraquara, as perdas médias no Setor Fonte eram de 40% com volumes macromedidos da ordem de 650.000 m<sup>3</sup>/mês e micromedidos de 390.000 m<sup>3</sup>/mês.

O quadro a seguir apresenta os volumes fornecidos e medidos e índices de perdas por zona de pressão.

**Quadro 14 – Volumes fornecidos e medidos e índices de perdas por zona de pressão – Setor Fonte**

| Zona de Pressão | Número de ligações de água | Volume [m <sup>3</sup> / mês] |                | Índice de Perda na Distribuição |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|----------------|---------------------------------|
|                 |                            | Micromedido                   | Macromedido    |                                 |
| Zona Baixa 1    | 2.111                      | 41.229                        | 240.852        | 38,2%                           |
| Zona Baixa 2    | 4.342                      | 107.500                       |                |                                 |
| Zona Alta       | 5.935                      | 130.345                       | 209.176        | 37,7%                           |
| Zona Média      | 5.265                      | 111.072                       | 201.493        | 44,9%                           |
| <b>Total</b>    | <b>17.653</b>              | <b>390.146</b>                | <b>651.521</b> | <b>40,0%</b>                    |

*Fonte: Edital DAAE Araraquara – TP 006/2007*

Para refinar os estudos de setorização, foram também consideradas as vazões fornecidas aos grandes consumidores. Ainda que, na média, essas vazões sejam pequenas em relação à vazão total na distribuição, os grandes consumidores exercem uma pressão de consumo localizada que deve ser considerada para melhor fidelidade das modelagens.

Através do cadastro comercial foram selecionados, entre todos os grandes consumidores, aqueles que apresentaram consumos históricos médios maiores que 0,10 L/s. Dessa triagem resultaram 128 consumidores, que somados, consumiam em média 79.000 m<sup>3</sup>/mês (ou 30 L/s).

Esses consumidores foram locados na planta cadastral e suas vazões foram atribuídas aos respectivos nós como vazões concentradas durante o processo de calibração e modelagem matemática do setor.

### **4.2.3 Medições de campo e simulações hidráulicas iniciais**

Para a continuidade do diagnóstico do setor foram realizadas diversas medições para verificar as condições reais do abastecimento.

As medições de pressões instantâneas totalizaram aproximadamente 500 pontos ao longo de toda a rede de distribuição em todas as zonas de pressão, outros 50 pontos tiveram data-loggers para medição de pressões pelo período de 48 horas consecutivas.

Além das medições de pressão, foram fornecidos pelo DAAE os dados históricos com a variação horária dos níveis dos reservatórios de cada zona de pressão no período de 07/05/2007 a 13/05/2007.

Na saída de cada zona de pressão, também, foram medidas as vazões fornecidas à distribuição durante o período de sete dias consecutivos. As medições foram realizadas com a utilização de medidores eletromagnéticos de inserção em TAPs, instalados nas tubulações das duas saídas do reservatório da zona alta e na saída única para a zona média. Para a zona baixa foram totalizados os dados das leituras do medidor eletromagnético instalado na única saída dos reservatórios.

Todos esses dados tabulados resultaram nos subsídios necessários para a montagem e perfeita calibração do modelo matemático para a simulação hidráulica do setor e desenvolvimento das propostas e alternativas para a nova setorização.

A figura a seguir mostra a representação gráfica das medições instantâneas de pressão e a localização dos data-loggers instalados para medições de pressão.

Na seqüência são apresentados os gráficos com as medições dos níveis operacionais dos reservatórios, das vazões fornecidas à distribuição e das pressões com data-logger.

SETOR DE ABASTECIMENTO  
FONTE  
DAAE-ARARAQUARA/SP

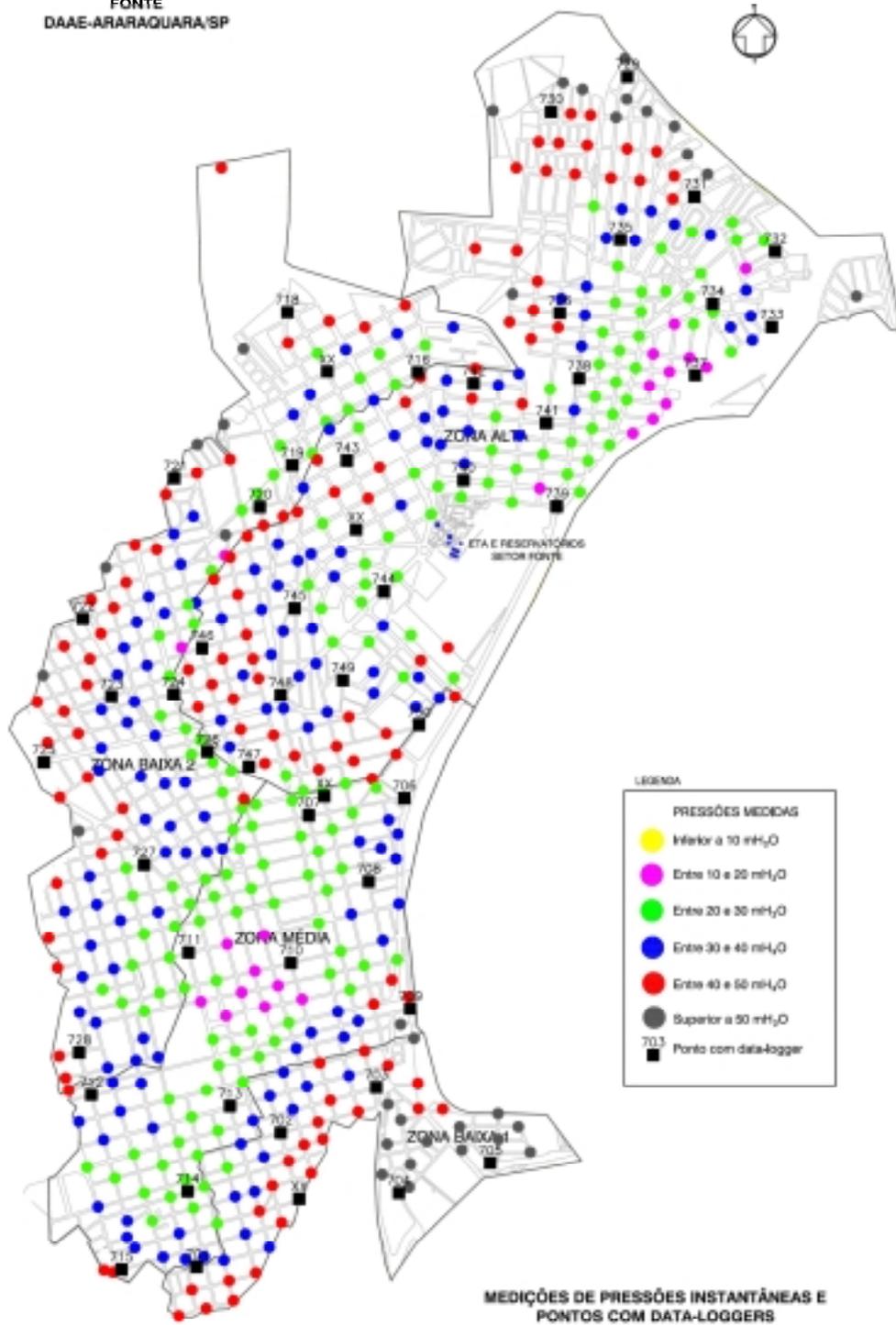
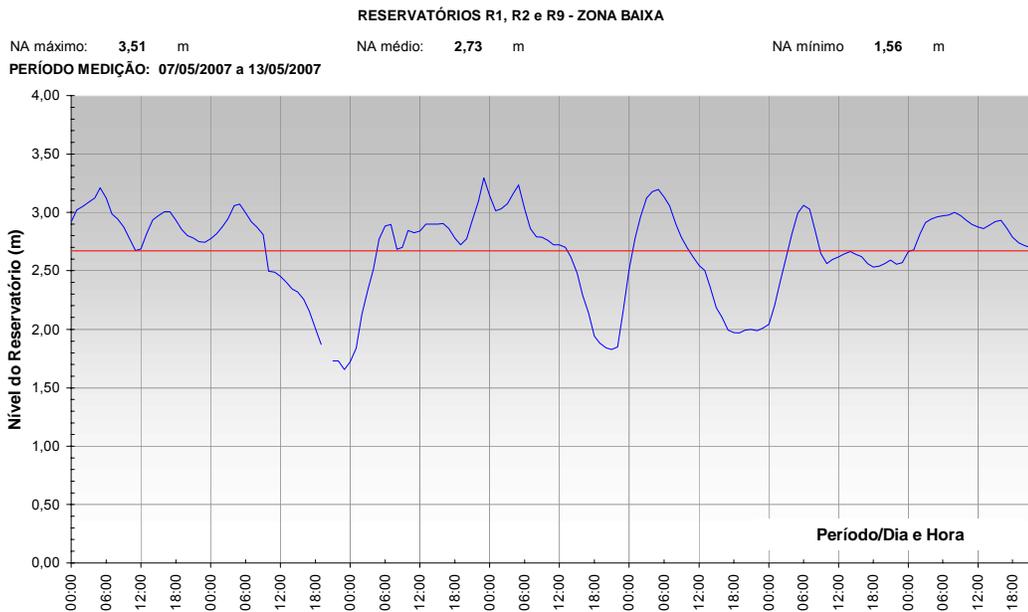
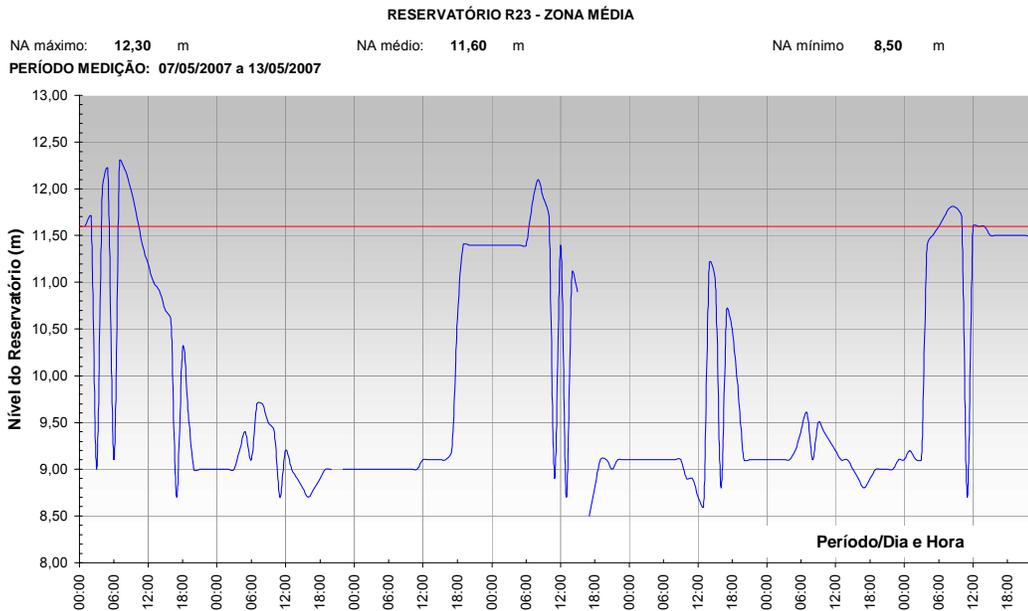


Figura 47 – Campanha de medições de pressão instantâneas e pontos de instalação de data-loggers

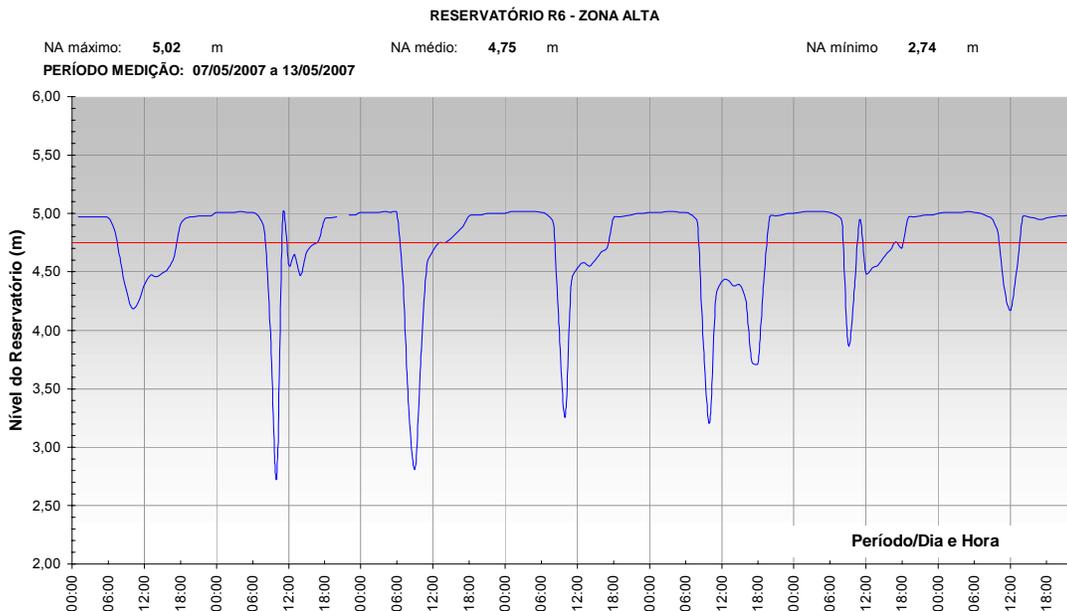
**Gráfico 24 – Variação do nível operacional Setor Fonte Zona Baixa**



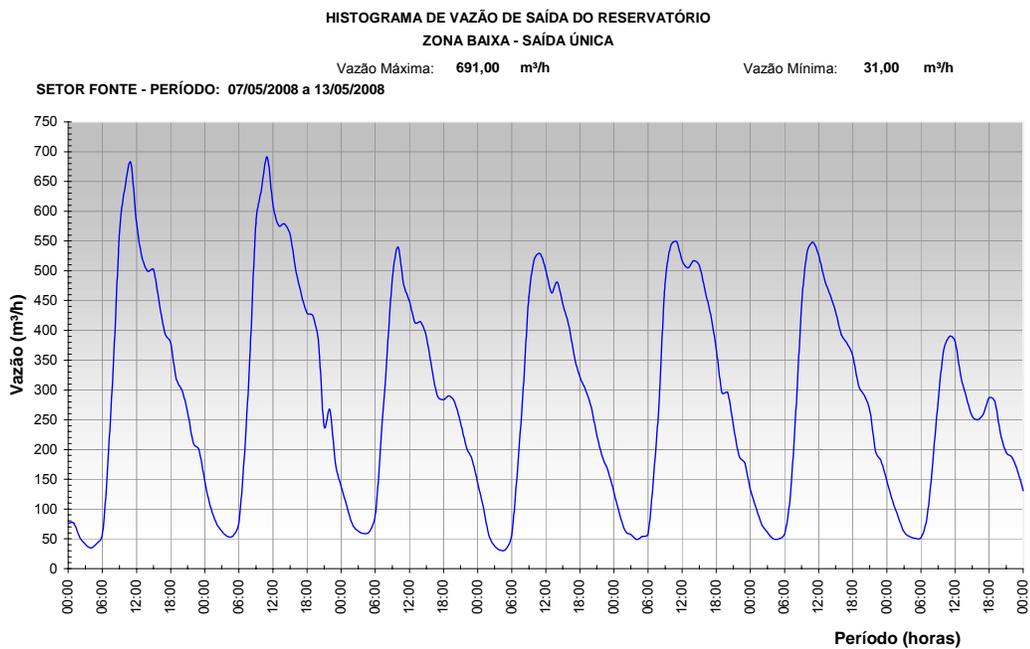
**Gráfico 25 – Variação do nível operacional Setor Fonte Zona Média**



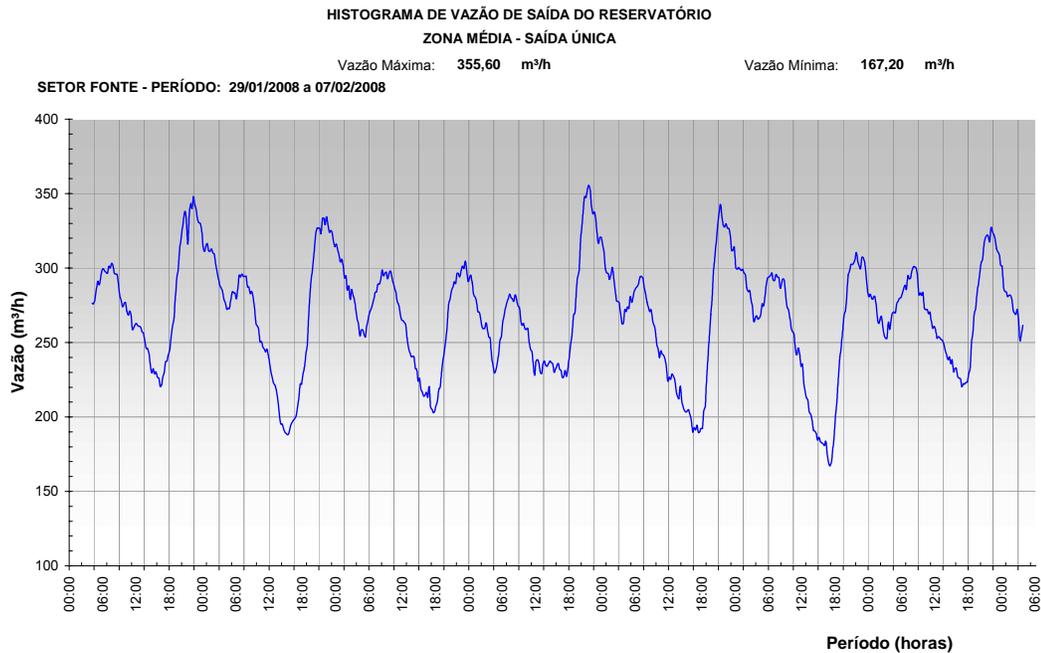
**Gráfico 26 – Variação do nível operacional Setor Fonte Zona Alta**



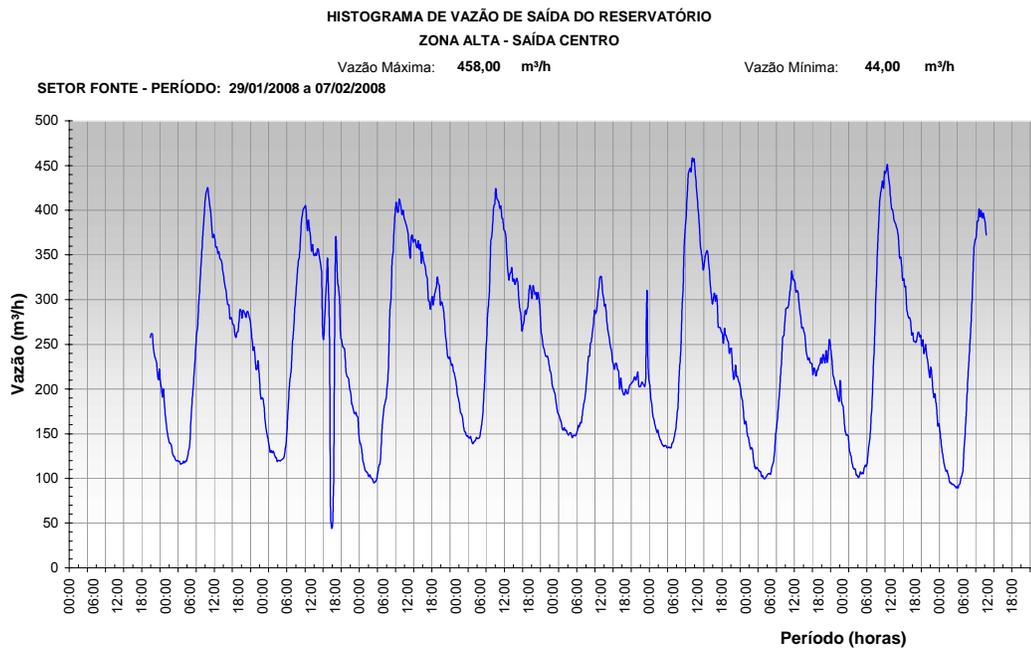
**Gráfico 27 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Baixa do Setor Fonte**



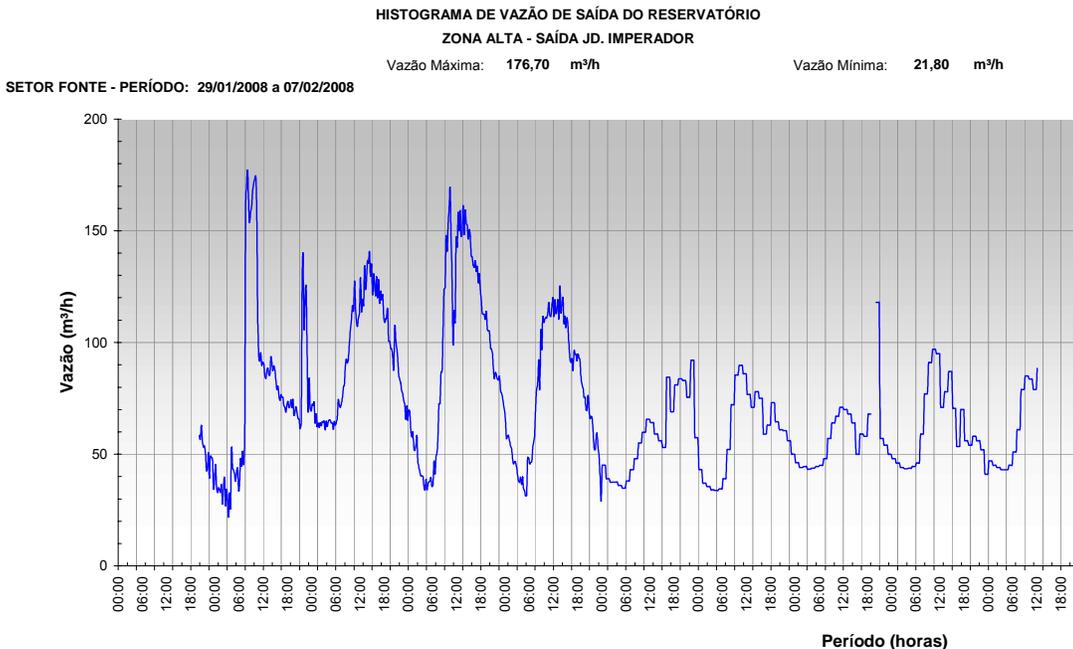
**Gráfico 28 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Média do Setor Fonte**



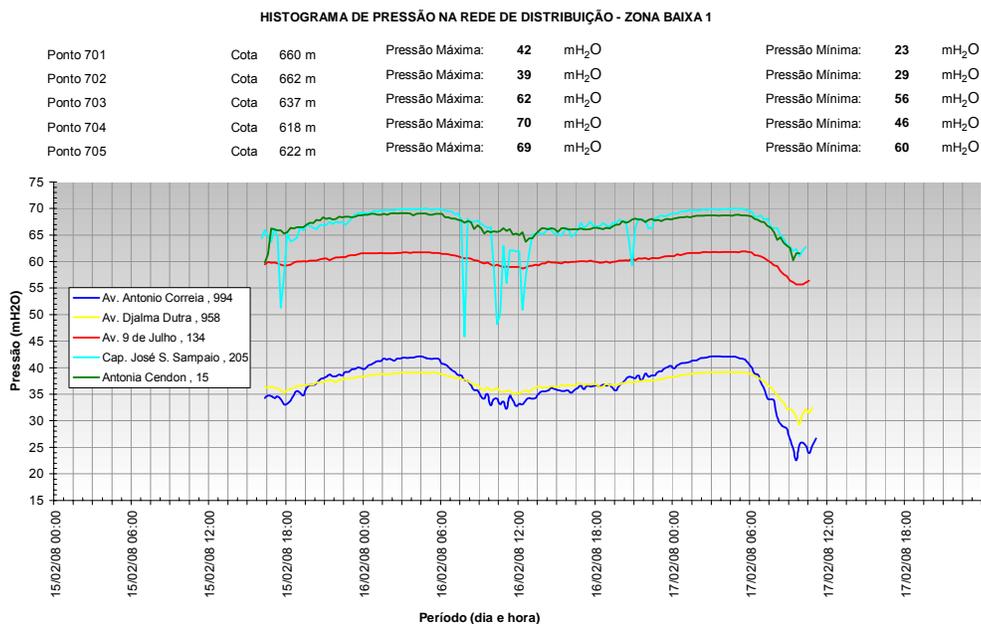
**Gráfico 29 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Alta do Setor Fonte (saída Centro)**



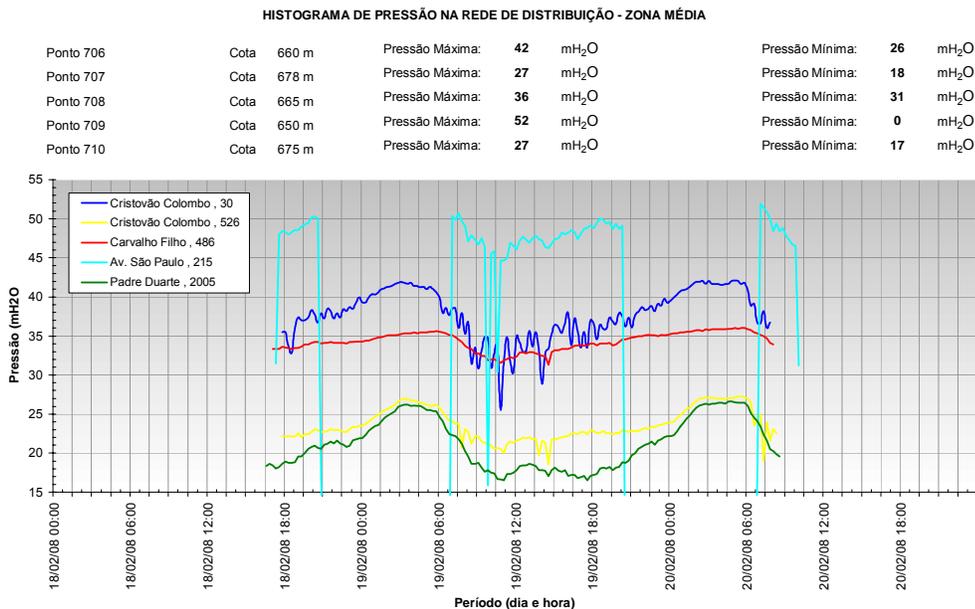
**Gráfico 30 – Vazão na saída da Reservatório de Zona Alta do Setor Fonte (saída Jd. Imperador)**



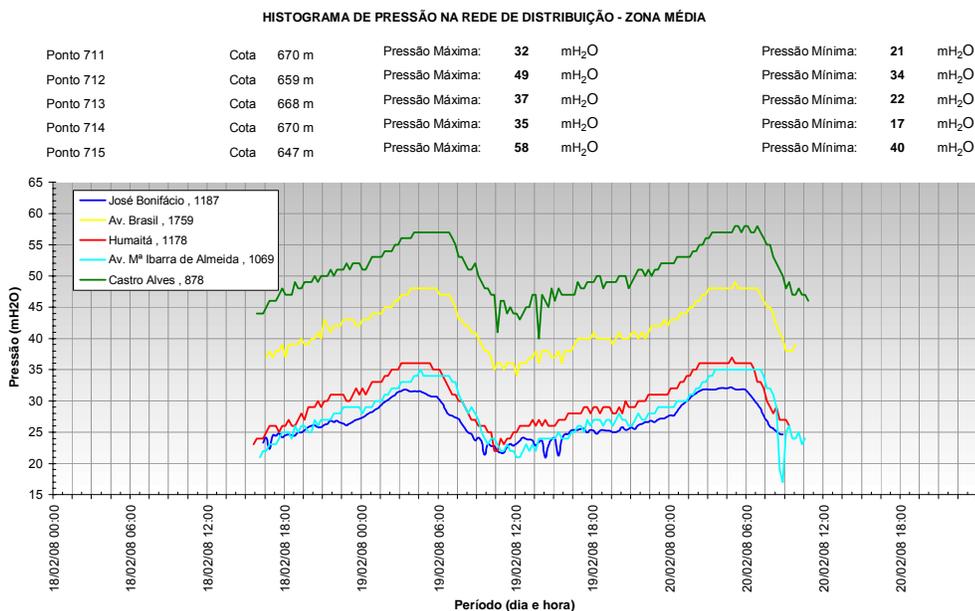
**Gráfico 31 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Baixa**



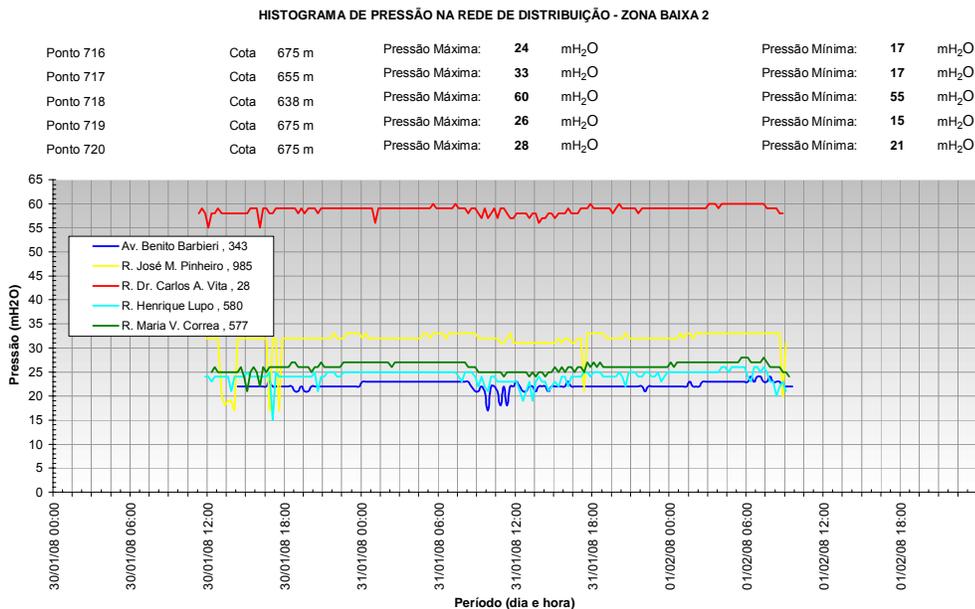
**Gráfico 32 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Média**



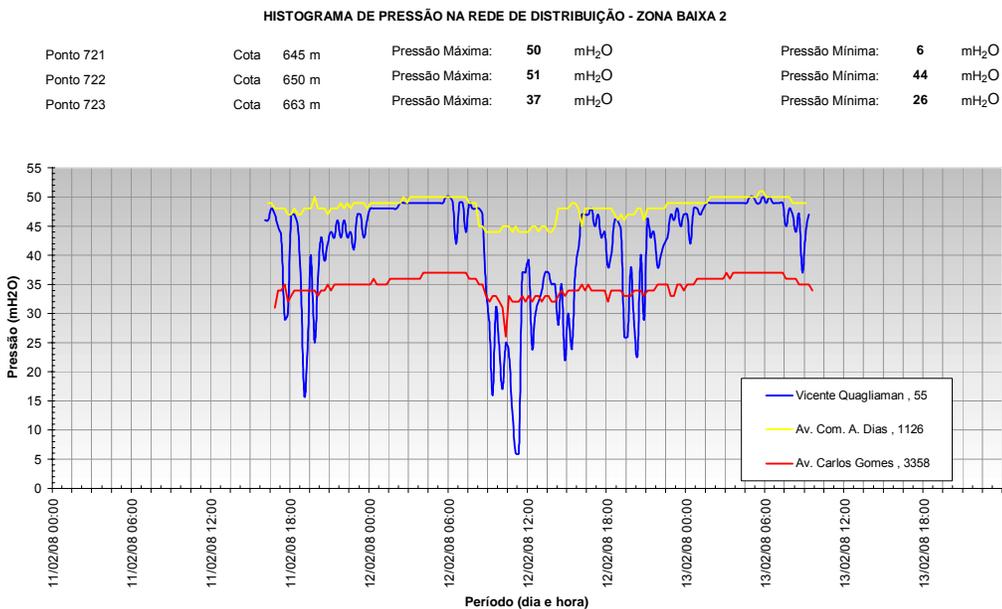
**Gráfico 33 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Média**



**Gráfico 34 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Média**



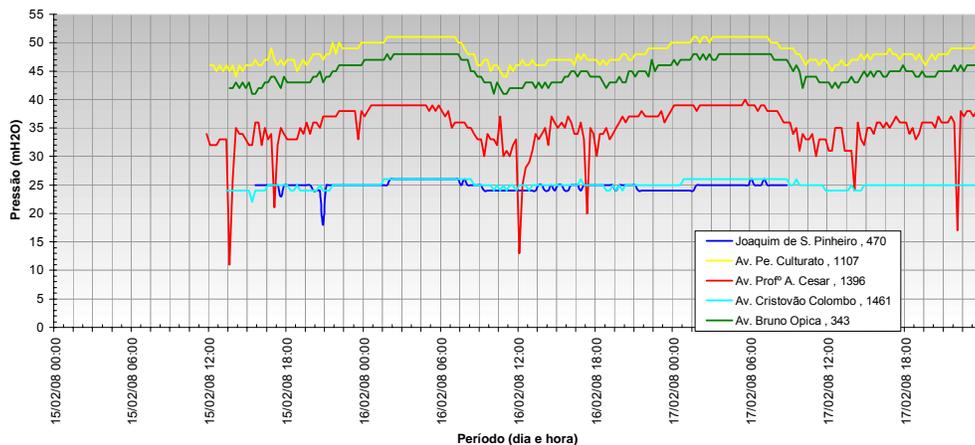
**Gráfico 35 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Baixa 2**



**Gráfico 36 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Baixa 2**

**HISTOGRAMA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ZONA BAIXA 2**

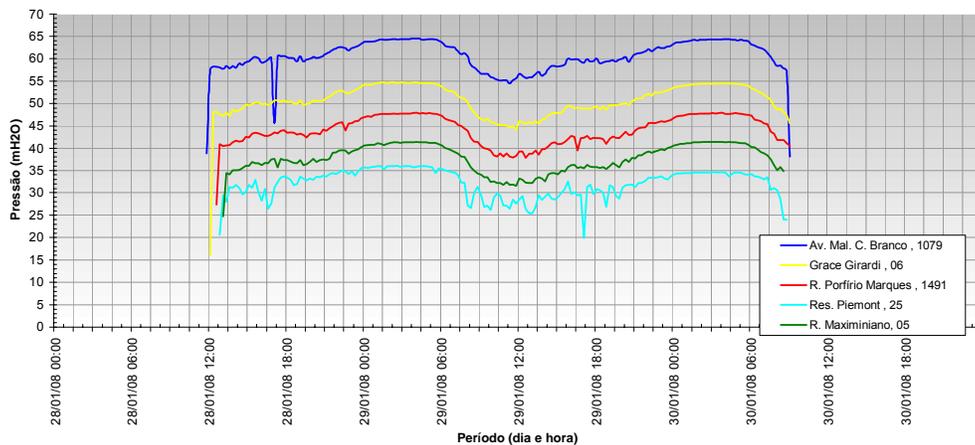
|           |            |                                      |                                      |
|-----------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ponto 724 | Cota 675 m | Pressão Máxima: 26 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 18 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 725 | Cota 643 m | Pressão Máxima: 51 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 44 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 726 | Cota 675 m | Pressão Máxima: 40 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 11 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 727 | Cota 660 m | Pressão Máxima: 26 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 22 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 728 | Cota 650 m | Pressão Máxima: 48 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 41 mH <sub>2</sub> O |



**Gráfico 37 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta**

**HISTOGRAMA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ZONA ALTA**

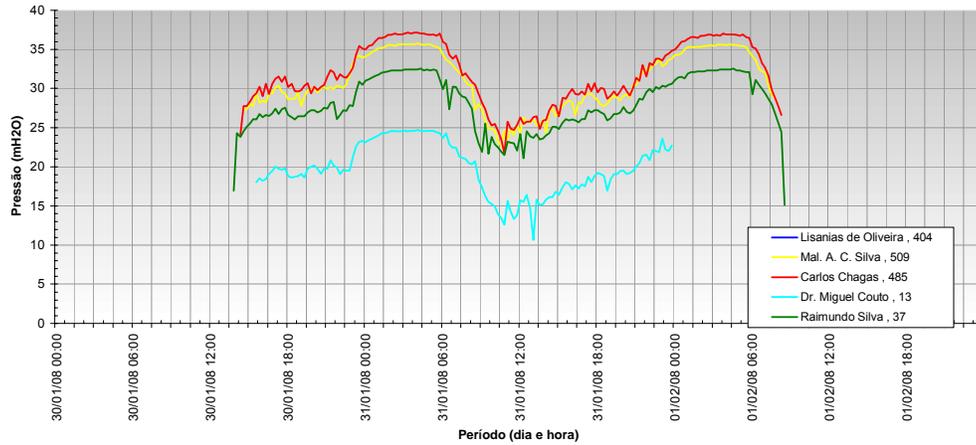
|           |            |                                      |                                      |
|-----------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ponto 729 | Cota 655 m | Pressão Máxima: 64 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 38 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 730 | Cota 668 m | Pressão Máxima: 55 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 16 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 731 | Cota 675 m | Pressão Máxima: 48 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 27 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 732 | Cota 673 m | Pressão Máxima: 36 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 20 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 733 | Cota 683 m | Pressão Máxima: 41 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 25 mH <sub>2</sub> O |



**Gráfico 38 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta**

**HISTOGRAMA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ZONA ALTA**

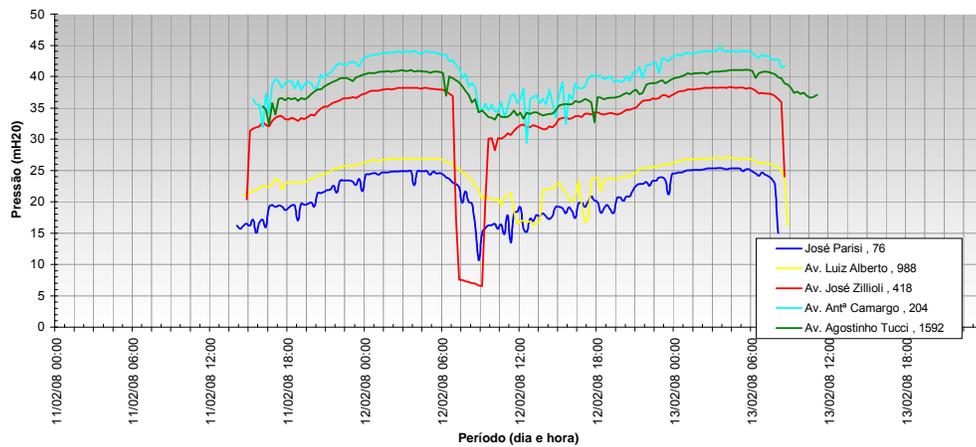
|           |            |                    |                   |                    |                   |
|-----------|------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Ponto 734 | Cota 692 m | Pressão Máxima: ND | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: ND | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 735 | Cota 688 m | Pressão Máxima: 36 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 23 | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 736 | Cota 685 m | Pressão Máxima: 37 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 22 | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 737 | Cota 698 m | Pressão Máxima: 25 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 11 | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 738 | Cota 690 m | Pressão Máxima: 33 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 15 | mH <sub>2</sub> O |



**Gráfico 39 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta**

**HISTOGRAMA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ZONA ALTA**

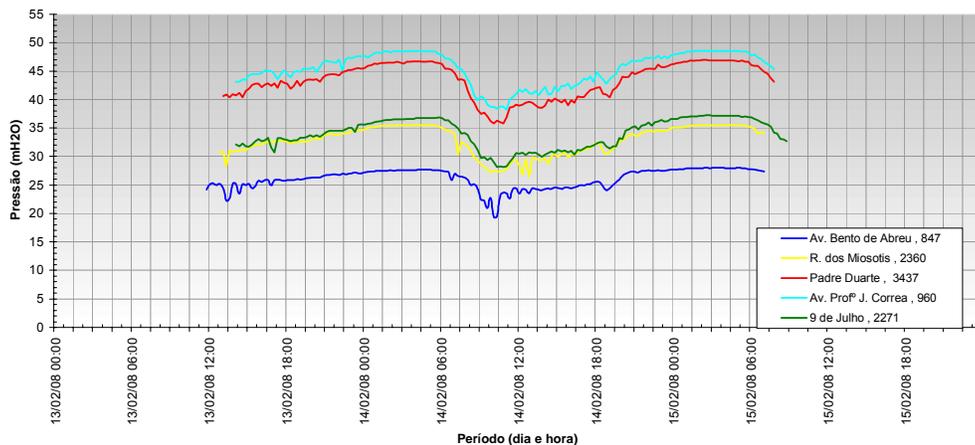
|           |            |                    |                   |                    |                   |
|-----------|------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Ponto 739 | Cota 700 m | Pressão Máxima: 25 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 11 | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 740 | Cota 698 m | Pressão Máxima: 27 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 16 | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 741 | Cota 688 m | Pressão Máxima: 38 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 7  | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 742 | Cota 680 m | Pressão Máxima: 45 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 29 | mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 743 | Cota 683 m | Pressão Máxima: 41 | mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 32 | mH <sub>2</sub> O |



**Gráfico 40 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta**

**HISTOGRAMA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ZONA ALTA**

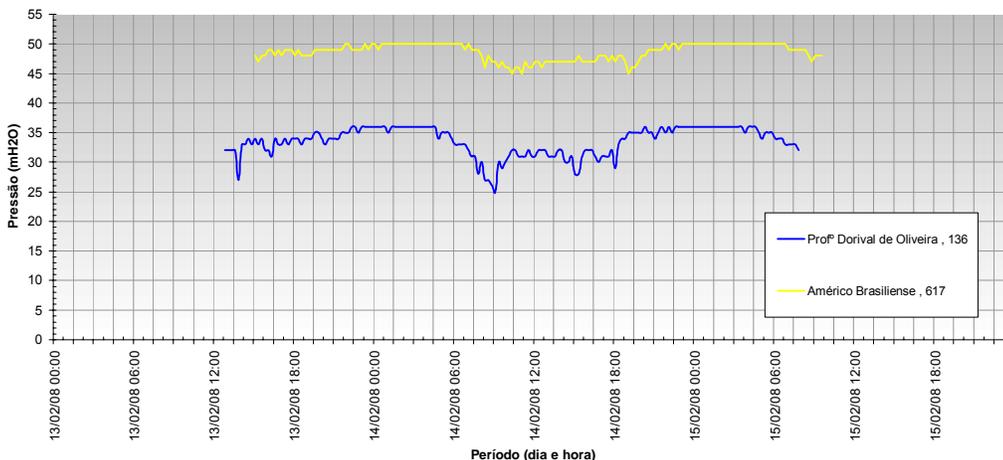
|           |            |                                      |                                      |
|-----------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ponto 744 | Cota 698 m | Pressão Máxima: 28 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 19 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 745 | Cota 690 m | Pressão Máxima: 36 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 27 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 746 | Cota 678 m | Pressão Máxima: 47 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 36 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 747 | Cota 675 m | Pressão Máxima: 49 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 38 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 748 | Cota 688 m | Pressão Máxima: 37 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 28 mH <sub>2</sub> O |



**Gráfico 41 – Pressão nas redes de distribuição do Setor Fonte – Zona Alta**

**HISTOGRAMA DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ZONA ALTA**

|           |            |                                      |                                      |
|-----------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ponto 749 | Cota 690 m | Pressão Máxima: 36 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 25 mH <sub>2</sub> O |
| Ponto 750 | Cota 673 m | Pressão Máxima: 50 mH <sub>2</sub> O | Pressão Mínima: 45 mH <sub>2</sub> O |



Todos os dados medidos mostram coerência entre si e puderam ser utilizados para a montagem e calibração do modelo hidráulico do abastecimento do setor.

Com base em todos esse dados levantados, o modelo hidráulico foi calibrado e as simulações realizadas para as vazões máxima e mínima.

Para a modelagem, na condição de máximo consumo, utilizaram-se os valores de níveis mínimos de reservatórios associados às vazões máximas e pressões mínimas medidas. Inversamente, procedeu-se a simulação para a vazão mínima.

Os ajustes do modelo foram realizados atribuindo-se os valores de pressão aos nós onde correram as medições e de forma automática o programa corrigiu os valores de rugosidade nas tubulações.

Promovidos todos os ajustes é possível observar que, quando comparadas graficamente as simulações hidráulicas (figuras 48 e 49, a seguir) com as medições reais de campo (Figura 47, anterior), existe uma grande aderência entre os dados medidos e os resultados das modelagens.

Os resultados das simulações para as condições reais de abastecimento mostraram-se bastante fiéis às medições reais (de campo) e portanto pode-se afirmar que o modelo calibrado traduz as condições hidráulicas reais de abastecimento no setor.

Com o modelo calibrado todos os parâmetros de vazões fornecidas e rugosidades obtidas são mantidos inalterados. Assim é possível que sejam realizadas novas modelagens com propostas de subdivisão em microzonas e propostas de melhorias nas condições hidráulicas e verificar o impacto que as obras, fechamentos e manobras de registros, alterações de limites etc podem causar no abastecimento.

As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos após a calibração final do modelo das simulações das pressões na condição de vazão máxima e vazão mínima fornecidas ao abastecimento.

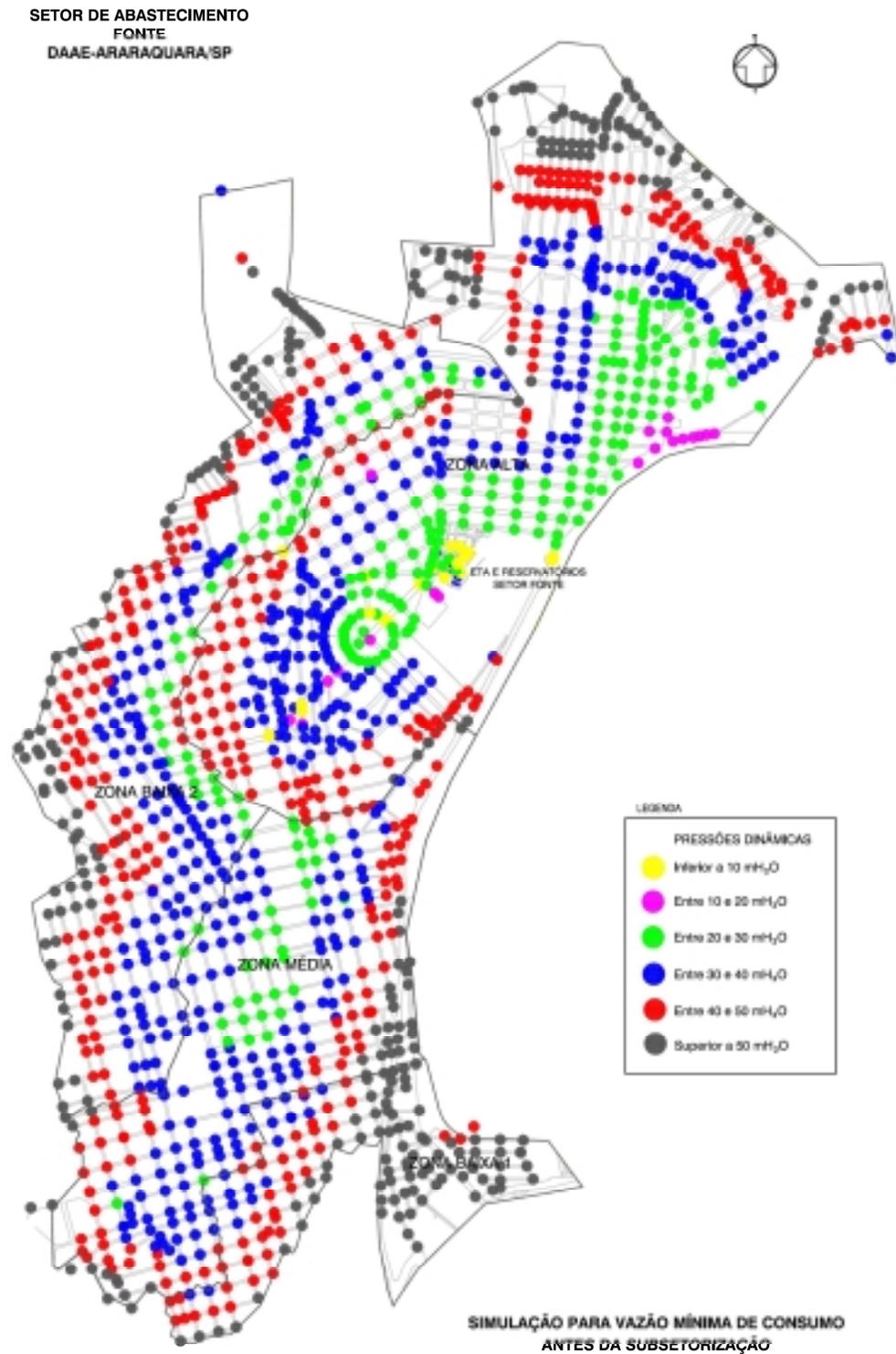


Figura 48 – Simulação hidráulica para a vazão mínima nas condições iniciais do setor (2008)

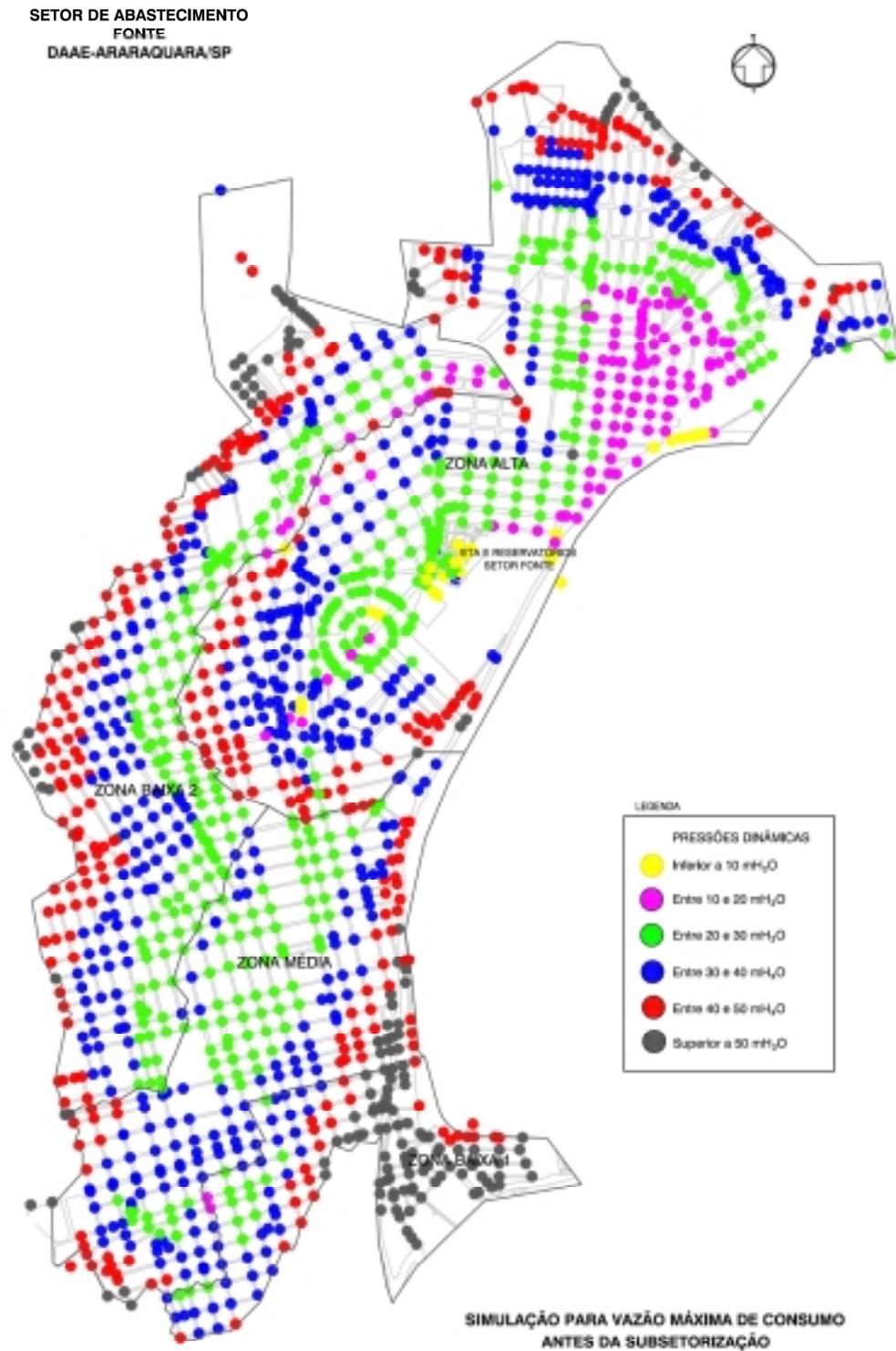


Figura 49 – Simulação hidráulica para a vazão máxima nas condições iniciais do setor (2008)

#### **4.2.4 Proposta da nova setorização**

A premissa principal de projeto era a criação de subsetores para melhoria do controle operacional e do controle de perdas utilizando o critério de implantação de DMC com aproximadamente 500 a 1000 ligações por distrito.

Para tanto, buscou-se conceber subsetores perfeitamente isolados, com uma única linha de entrada. Às linhas de entrada dos principais subsetores associaram-se medidores de vazões e uma válvula de bloqueio para permitir o isolamento dos subsetores e a totalização individual dos volumes fornecidos a cada DMC.

A subsectorização proposta envolve obras de prolongamentos, reforços e duplicações de redes primárias, interligações, by-pass de redes, instalação de válvulas redutoras de pressão e válvulas de manobra. Todos os isolamentos e obras foram testados nos modelos matemáticos para confirmação de viabilidade técnica de implantação.

Cada novo subsetor foi testado no modelo matemático para validar o comportamento hidráulico interna e externamente à área proposta. Dessa forma, foi possível consolidar a proposta e adequá-la, quando necessário, antevendo possíveis problemas gerados pela interrupção ou mudanças nos fluxos das redes de distribuição.

Definidas as novas zonas de pressão, verificaram-se as possibilidade e necessidade de subdividir novamente os setores criando as microzonas de manobra e as áreas com controle de pressões através de instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs).

Como critério para implantação de VRPs, definiu-se que: regiões submetidas constantemente a altas pressões (pressões dinâmicas superiores a 40 mH<sub>2</sub>O) são áreas potenciais para redução de pressões.

A figura a seguir apresenta a proposta para subdivisão do Setor Fonte em novas zonas de pressão. Em seguida, são descritas as principais obras para a viabilização dessa proposta e para a subdivisão em microzonas de manobra e controladas com VRPs.

SETOR DE ABASTECIMENTO  
FONTE  
DAAE-ARARAQUARA/SP

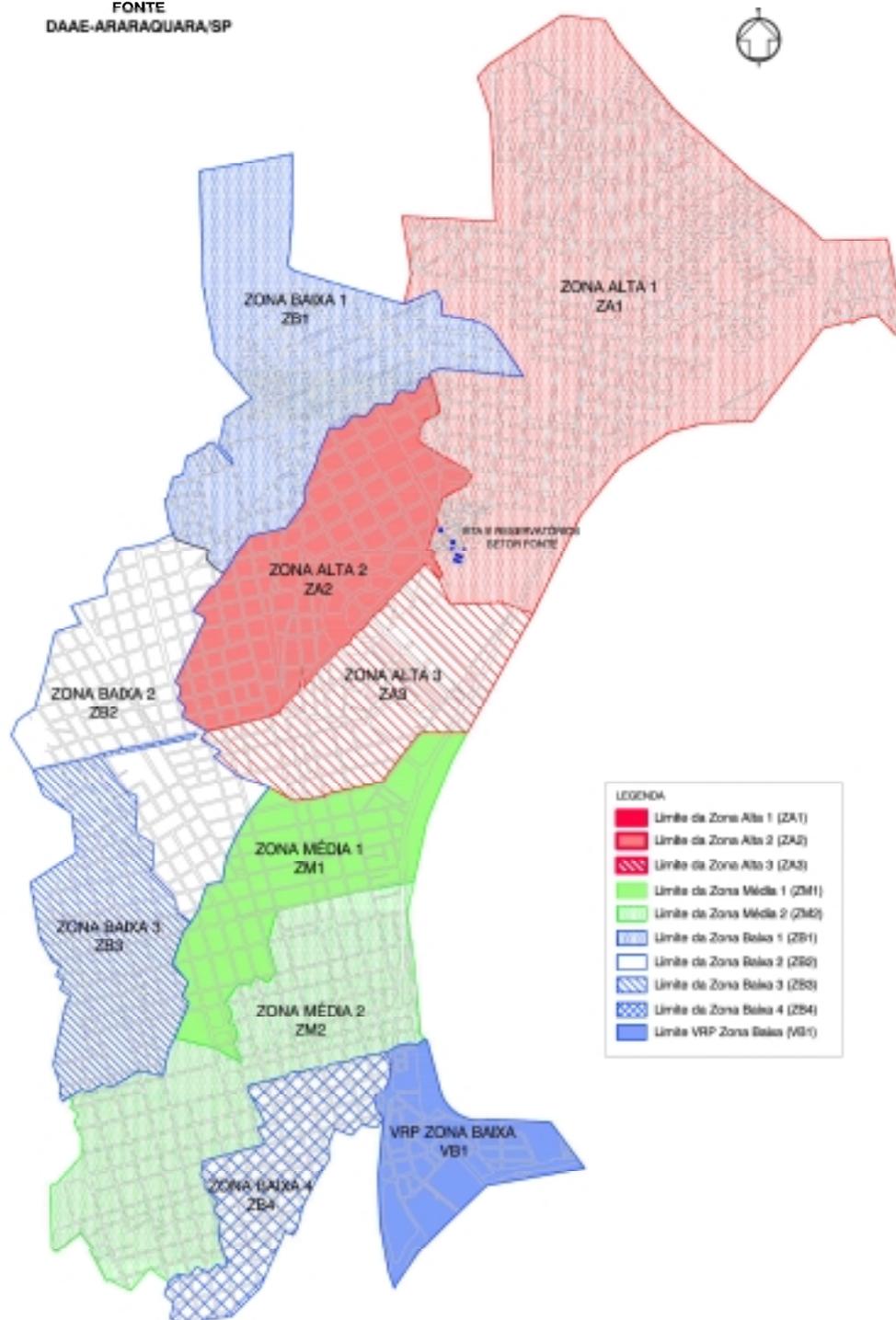


Figura 50 – Proposta para subdivisão das zonas de pressão

#### 4.2.4.1 Subsetorização Setor Fonte Zona Alta

Para a Zona Alta, propôs-se a divisão da atual zona de pressão em três áreas principais denominadas: Zona Alta 1 (ZA1), Zona Alta 2 (ZA2) e Zona Alta 3 (ZA3).

Inicialmente, verificou-se que alguns pontos da ZA1, localizados nas cotas mais próximas ao reservatório, apresentavam pressões baixas durante o período de máxima demanda conforme observado nos dados dos *data-loggers* instalados nos pontos 737 e 739 apresentados nos gráficos 38 e 39, anteriormente.

Essa situação foi confirmada na modelagem matemática que indicou a ocorrência de velocidades altas na tubulação da rede primária principal que abastece essa área, causando uma perda de carga excessiva na linha principal da Zona Alta 1 de 200 mm que abastece a região norte do setor.

Para a solução desse problema foi sugerida a duplicação da linha principal que abastece a área. A partir de uma linha existente de 300 mm, que sai diretamente do reservatório, previu-se uma nova derivação de 250 mm que se estende por aproximadamente 1.200 m e se interliga a outra rede existente de 200 mm.

Esse reforço permitirá uma melhor condição de abastecimento para os pontos mais altos e viabilizará a implantação de três válvulas redutoras de pressão nos pontos baixos.

O controle de pressões nos pontos baixos implica redução das perdas de água e conseqüentemente das vazões fornecidas. Dessa forma, não só a redução da perda de carga será importante para a regularização do abastecimento como também o aumento da pressão a montante das VRPs. A expectativa é que o problema de abastecimento da zona alta seja definitivamente solucionado com essa linha de reforço proposta.

Também foram propostos mais dois pequenos reforços na ZA1, através de um prolongamento da rede de diâmetro de 150 mm com 360 m de extensão e outro em diâmetro de 100 mm por 245 m.

A figura a seguir apresenta as obras com os reforços de rede propostos.

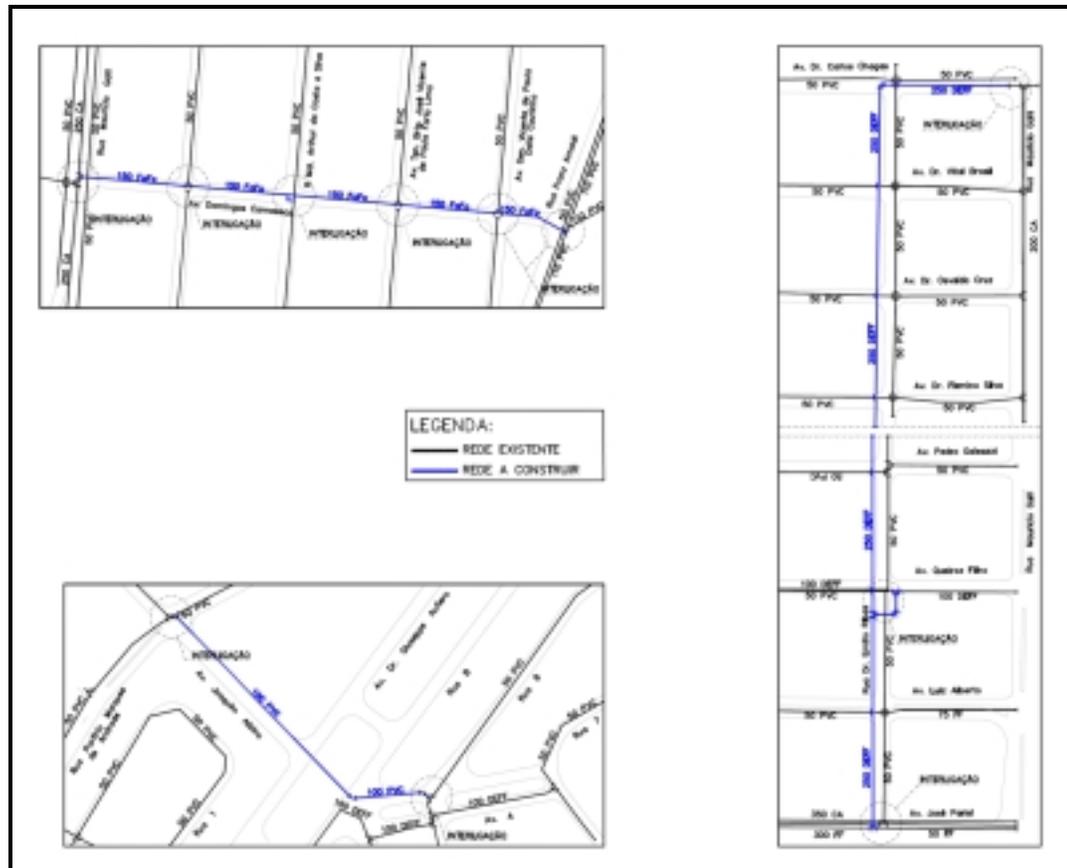


Figura 51 – Obras subsetorização da Zona Alta 1 do Setor Fonte

Para as demais áreas da zona alta não foi necessário prever obras complementares. A simples instalações de válvulas de manobra nos limites entre subsetores permitiu o isolamento das áreas que permanecem com uma única entrada sem prejuízo ao abastecimento.

#### 4.2.4.2 Subsetorização Setor Fonte Zona Média

De forma semelhante ao planejado para a zona alta, também se dividiu a zona média em três zonas de pressão independentes: Zona Média 1 (ZM1), Zona Média 2 (ZM2) e Zona Média 3 (ZM3).

Cada qual possui uma única linha principal para o abastecimento e um medidor de vazões na entrada de cada uma delas. Para tanto, foi necessário prever obras de

interligações e prolongamentos de rede de modo que as entradas que são interligadas, fossem separadas.

Assim, uma linha de 400 mm, que sai do reservatório e se conecta em vários pontos da rede da zona média foi totalmente isolada. Na nova subsetorização a rede percorrerá 2500 m a partir do reservatório até a primeira interligação em uma linha de 200 mm, que corresponde à entrada da ZM1. A partir desse ponto, percorre mais 1100 m até o ponto onde se interliga a uma rede de 250 mm, da qual derivam as linhas que configuram as entradas das ZM2 e ZM3.

O simples isolamento da linha principal de Zona Média acarreta problemas de abastecimento na Zona Média 1, uma vez que interrompe uma série de derivações importantes ao abastecimento dessa área.

Portanto, a partir da linha de entrada da ZM1 (200 mm) é necessária uma linha auxiliar de 150 mm que será interligada na linha existente de 150 mm. Além disso, todas as linhas interrompidas em virtude do isolamento da linha principal deverão ser interligadas em by-pass da rede de 400 mm. As figuras a seguir apresentam as obras para o isolamento proposto.

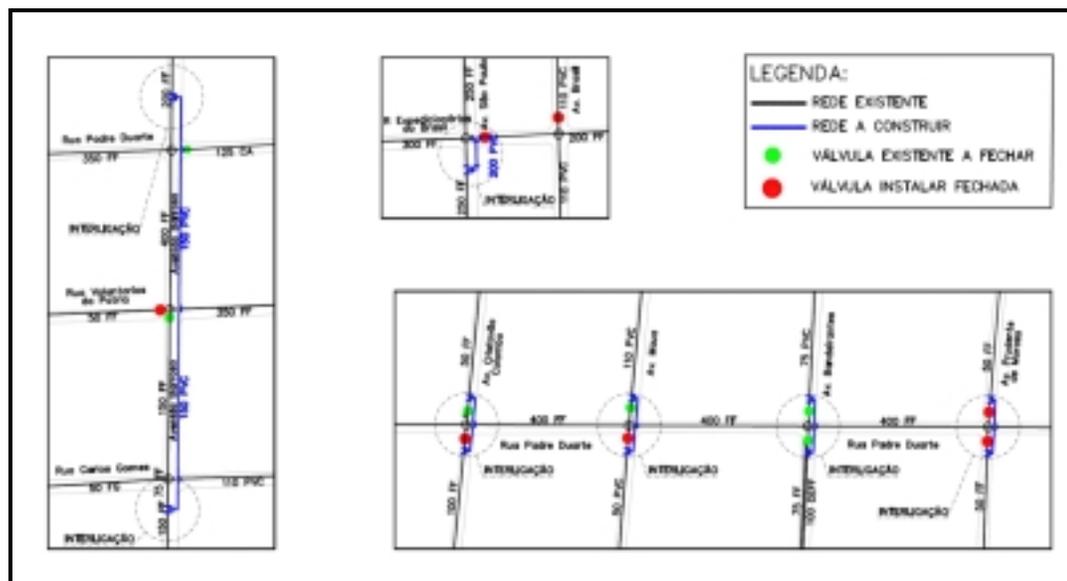


Figura 52 – Obras subsetorização da Zona Média do Setor Fonte

#### 4.2.4.3 Subsetorização Setor Fonte Zona Baixa

Tanto para a Zona Baixa 1 quanto para a Zona Baixa 2 não houve necessidade de obras complementares e todos os isolamentos propostos puderam ser implantados pela simples instalação de válvulas e manobra na rede existente.

A antiga Zona Baixa 1 foi dividida em duas partes, sendo que uma delas já deve possuir uma VRP na entrada do setor. Assim, foram denominadas as duas áreas de VRP Zona Baixa 1 (VB1) e Zona Baixa 4 (ZB4).

A Zona Baixa 2 foi dividida em três áreas com entradas únicas e independentes: Zona Baixa 1 (ZB1), Zona Baixa 2 (ZB2) e Zona Baixa 3 (ZB3).

#### 4.2.5 Consolidação da alternativa proposta e subdivisão em DMCs

Cada novo subsetor foi testado no modelo matemático para validar o comportamento hidráulico interna e externamente à área proposta. Dessa forma, foi possível consolidar a proposta e adequá-la, quando necessário, antevendo possíveis problemas gerados pela interrupção ou mudanças nos fluxos das redes de distribuição.

Definidas as novas zonas de pressão, verificaram-se as possibilidades e necessidade de subdividir novamente os setores criando as microzonas de manobra e as áreas com controle de pressões através de instalação de válvulas redutoras de pressão: os Distritos de Medição e Controle.

Foi estabelecido um código para identificar o tipo de setor e a zona de pressão a que pertence, da seguinte forma:

| <b>Tipo de Setor</b> | <b>Zona de Pressão</b> | <b>Nº seqüencial do setor</b> |
|----------------------|------------------------|-------------------------------|
| Z, V, M              | A, M, B                | 1, n                          |

Em que:

- ✓ Z = macrozona de pressão;
- ✓ V = setor controlado por válvula redutora de pressão;

- ✓ M = setor de manobra
- ✓ A, M, B = Zona Alta, Zona Média e Zona Baixa, respectivamente;
- ✓ 1 até n = número seqüencial que identifica o setor;

Como critério para implantação de VRP's, definiu-se que: regiões submetidas constantemente a pressões dinâmicas superiores a 40 mH<sub>2</sub>O são áreas potenciais para redução de pressões.

Novamente foram validadas, no modelo matemático, as microzonas e finalmente obteve-se a configuração final do sistema de distribuição.

Todas as simulações apontaram a viabilidade para implantação de todos os 24 subsetores propostos. Além das dez macrozonas de pressão (ZA1, ZA2, ZA3, ZM1, ZM2, ZB1, ZB2, ZB3, ZB4 e VB1) mais 14 subdivisões foram criadas:

- ✓ A Zona Alta 1 foi subdividida em mais cinco microzonas, três de VRPs (VA1, VA2 e VA3) e duas de manobra (MA1 e MA2);
- ✓ As zonas altas 1 e 2 foram divididas em duas novas áreas de manobra cada uma (MA3 e MA4);
- ✓ Na Zona Média 1 foi criada a microzona de manobra MM1;
- ✓ Na Zona Média 2 foi criada uma zona controlada por VRP (VM1);
- ✓ Na Zona Baixa 1 previu-se uma área controlada por VRP (VB2);
- ✓ Na Zona Baixa 2 foi criada uma subsetor de manobra (MB1);
- ✓ A Zona Baixa 3 foi subdividida em uma área controlada por válvula redutora de pressão e uma área de manobra (VB3 e MB2, respectivamente);
- ✓ Na Zona Baixa 4 foi criado o subsetor de VRP (VB4).

Na seqüência, as figuras 53, 54 e 55 apresentam, respectivamente, a proposta final consolidada com os todos os subsetores e os resultados obtidos nas simulações para a vazão mínima e para a vazão máxima, para toda a subsetorização.

SETOR DE ABASTECIMENTO  
 FONTE  
 DAAE-ARARAQUARA/SP

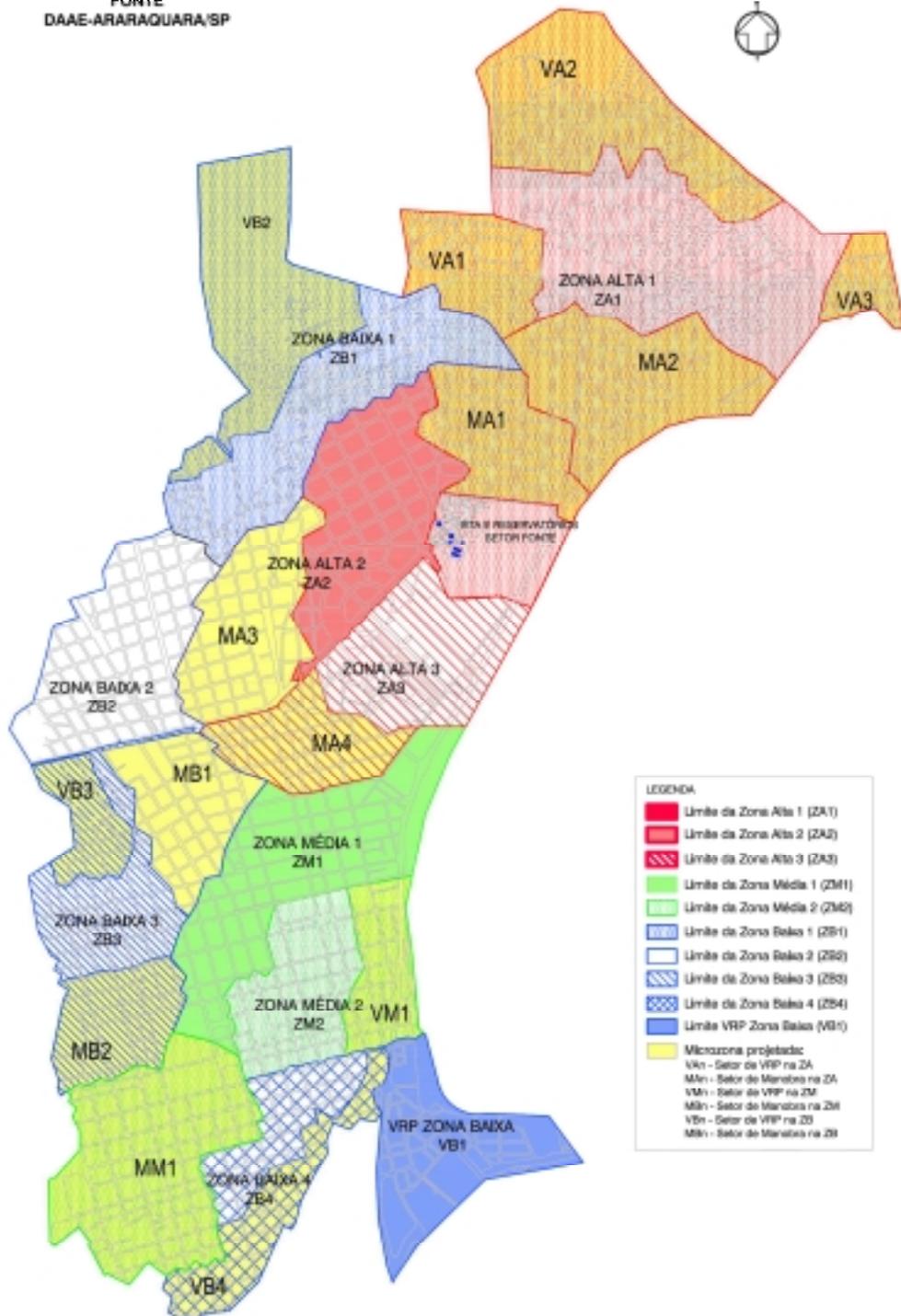


Figura 53 – Proposta para subdivisão das zonas de pressão incluindo distritos de medição e controle

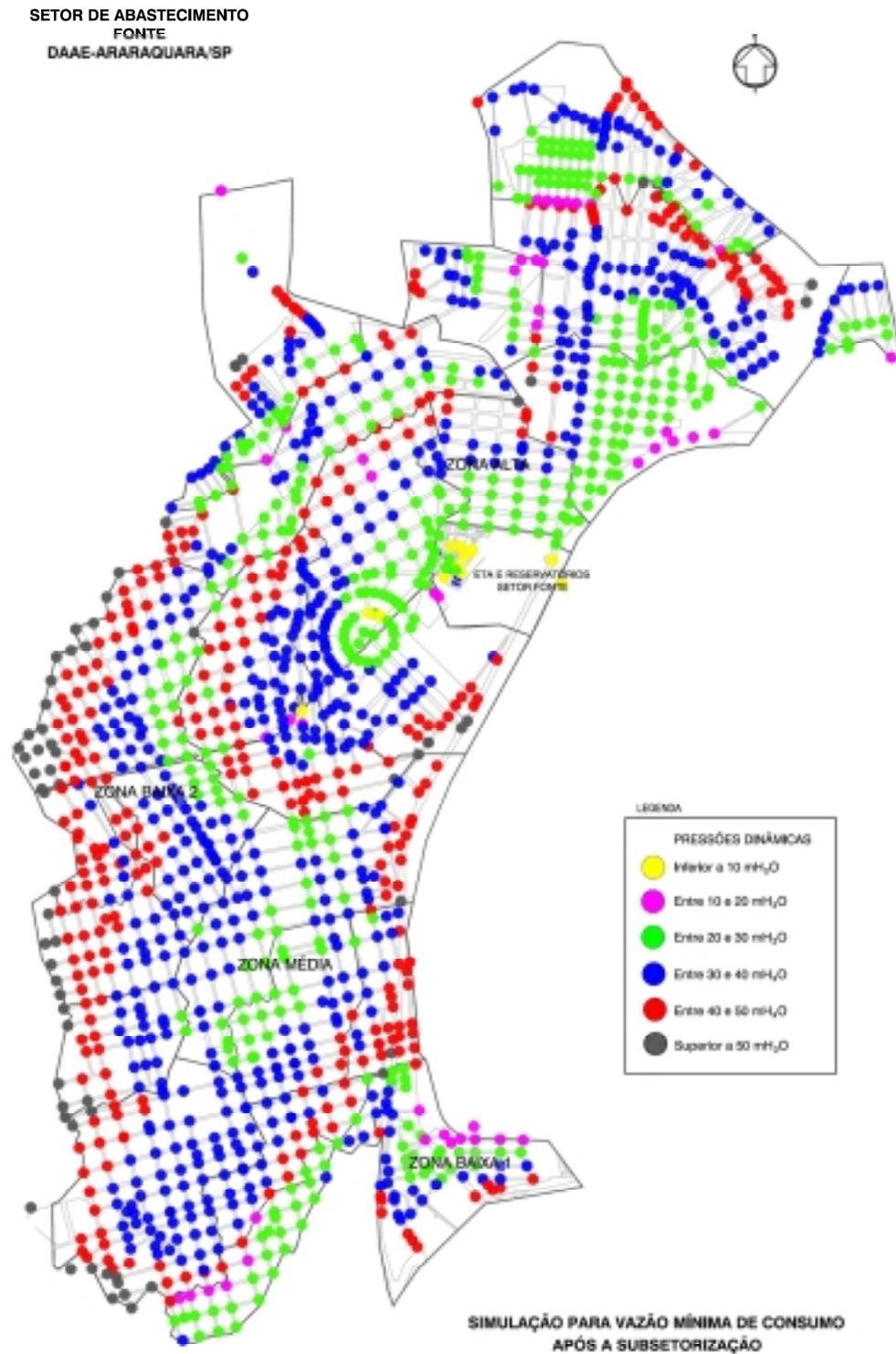


Figura 54 – Simulação hidráulica para a vazão mínima nas condições propostas

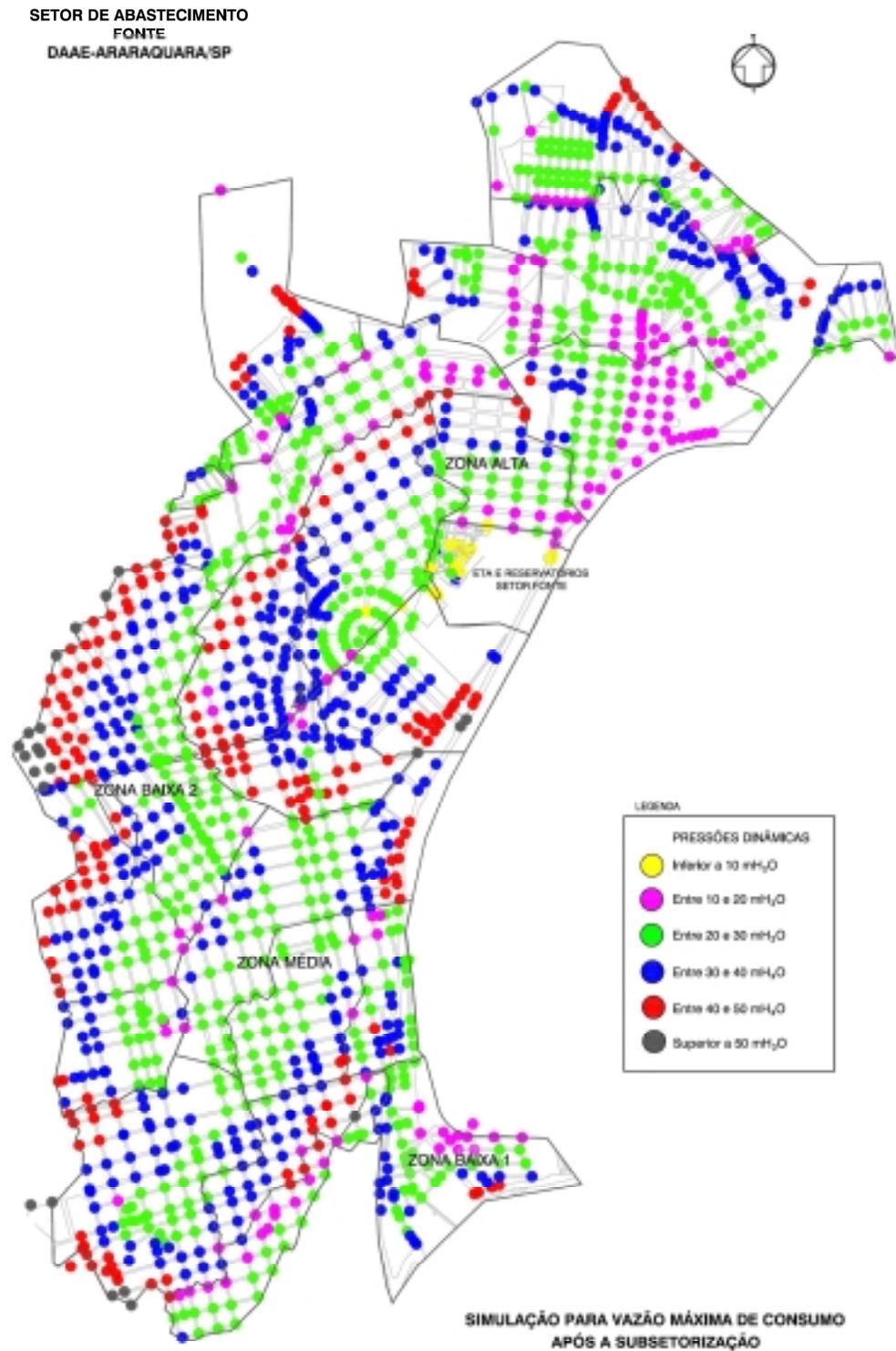


Figura 55 – Simulação hidráulica para a vazão máxima nas condições propostas

#### 4.2.6 Resultados teóricos obtidos na redução de perdas reais

Como pode ser observado nas simulações, a simples subsectorização mantém as pressões na distribuição estáveis e em níveis satisfatórios para o abastecimento público, mesmo para os períodos de consumo máximo. Para as simulações, não foram considerados os efeitos das operações das válvulas redutoras de pressão pois se deseja verificar apenas o efeito do isolamento físico dos subsectores em relação às condições atuais com as zonas de pressão sem divisões.

Quando comparadas as simulações nas condições atuais (figuras 48 e 49), com as simulações com a subsectorização e obras propostas (figuras 54 e 55), nota-se que houve um melhor equilíbrio na distribuição de pressões. O problema de pressões baixas encontradas na zona alta foi amenizado. As pressões na distribuição também se reduziram pelo simples fato do isolamento de subsectores.

Como resultados finais das simulações, foram listados os valores das pressões obtidas em cada um dos nós da rede de distribuição. Dado que todos os nós do sistema possuem valores simulados de pressões, para efeito de comparação, simplificaradamente, podem-se comparar as médias aritméticas simples entre as pressões antes e após a subsectorização.

Tomando-se a média aritmética simples das pressões máximas na distribuição, antes e depois da subsectorização, e dado que as vazões mínimas noturnas fornecidas à distribuição nas condições atuais são conhecidas, pode-se estabelecer a relação preconizada na Equação 2 (página 56) e se estimar o valor da vazão noturna futura no setor.

No modelo, para a condição inicial do Setor Fonte, a média das pressões noturnas (demanda mínima) resultou no valor de 38,5 mH<sub>2</sub>O. Com a subsectorização esse valor foi reduzido para 34,3 mH<sub>2</sub>O, sem considerar o efeito da operação das VRPs propostas. A vazão mínima noturna média medida foi de 419 m<sup>3</sup>/h para todo o setor.

Dado que os materiais das redes de distribuição são diversificados, adotou-se o valor recomendado de 1,0 para N1. Assim, substituindo os valores na Equação 2, tem-se:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{N1} \Rightarrow \frac{Q_1}{419} = \left( \frac{34,3}{38,5} \right)^1 \Rightarrow Q_1 = 373 \text{ m}^3/\text{h}$$

A simples subsetorização proposta, em teoria, é suficiente para reduzir a vazão noturna de 419 m<sup>3</sup>/h para 373 m<sup>3</sup>/h, equivalendo a uma redução de 11% na vazão fornecida à distribuição. Os resultados podem ser ainda melhores se analisado o efeito da atuação das VRPs.

A idéia da comparação é meramente ilustrativa para representar a ordem de grandeza em que se reduz a perda na distribuição pela simples subsetorização. Obviamente, não há rigor técnico nessa estimativa tampouco se pretende analisar profundamente os resultados. Para tanto, seriam necessários estudos muito detalhados e simulações em tempo estendido.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão discutidos os resultados obtidos na redução das perdas reais de água através da redução nas pressões de distribuição nos estudos de caso apresentados.

Os estudos de caso referem-se a duas situações distintas: o primeiro trata efetivamente da implantação de microzonas controladas por válvulas redutoras de pressão no setor de abastecimento Ermelino Matarazzo apresentando os reais resultados obtidos; o segundo caso trata do estudo para subsetorização do setor de abastecimento Fonte e o resultado teórico na redução das perdas reais advindo da subdivisão do setor em diversas microzonas.

No caso prático da efetiva implantação das microzonas para de controle de pressões no Setor Ermelino houve uma redução expressiva nas vazões fornecidas à distribuição., comprovada através da comparação entre as medições de vazão anteriores e posteriores às operações das VRPs. Os valores das vazões fornecidas à distribuição, antes e depois do controle de pressões, não podem ser entendidos como variação sazonal de consumo.

A vazão noturna está diretamente relacionada com as pressões nas redes de distribuição, uma vez que a parcela de consumo noturno é muito pequena e, portanto, pouco influenciada por variações de demanda. Quando analisados os gráficos comparativos de vazões antes e após o controle de pressões constata-se uma maior depressão nas curvas de consumo durante esses períodos de menor demanda o que demonstra que a redução de pressões tem grande influência sob as vazões noturnas de perdas.

Conforme apresentado anteriormente (item 4.1.5 Consolidação dos resultados) o conjunto total de cinco microzonas implantadas reduziu a vazão média fornecida em 13% o que significa 46m<sup>3</sup>/h menos água para distribuição.

Se analisados simplificadaamente, apenas em termos de volume de água recuperada (46m<sup>3</sup>/h), os investimentos realizados são perfeitamente justificáveis e vantajosos com períodos de retorno inferiores a um ano. Ou seja, todo investimento em obras e equipamentos realizado, estará pago após um ano de operação nessas condições.

É evidente que houve resultados satisfatórios em redução de perdas reais de água, porém o que salta à vista é que a zona alta do setor passou a ter quase 80% de suas redes de distribuição cobertas por VRP.

Sendo que 80% da zona alta está submetida a pressões elevadas a ponto de viabilizarem instalações de válvulas redutoras de pressão, é discutível a necessidade de uma torre com a elevação existente para atender apenas 20% da zona alta do setor.

As bombas de recalque para abastecer a zona alta continuam a fornecer ao sistema a mesma quantidade de energia e quase toda essa energia é quebrada pelas VRPs, havendo um grande desperdício de energia.

Da hidráulica temos que essa energia (potência) é dada pela seguinte equação:

$$P = \frac{\gamma Q H_{\text{man}}}{0,736 \times 75 \eta} \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

P = Potência do conjunto moto-bomba em [kW];

$\gamma$  = peso específico do fluido (1000 kfg/m<sup>3</sup> para a água);

Q = Vazão em [m<sup>3</sup>/s];

H<sub>man</sub> = altura manométrica [mH<sub>2</sub>O];

$\eta$  = rendimento global do conjunto (adotado 67%).

Com as informações do Quadro 12, tem-se que a pressão média nas entradas das válvulas da zona alta passou de 40 mH<sub>2</sub>O para 24 mH<sub>2</sub>O e que as vazões médias reduziram-se de 176 m<sup>3</sup>/h para 151 m<sup>3</sup>/h.

Considerando, de forma simplificada, que a energia média disponibilizada às áreas das válvulas é produto das vazões e pressões imediatamente a montante das válvulas (176 m<sup>3</sup>/h; 40 mH<sub>2</sub>O) e que a energia necessária para abastecer satisfatoriamente essas mesmas áreas, é produto das vazões e pressões imediatamente à jusante das válvulas em operação (151 m<sup>3</sup>/h; 24 mH<sub>2</sub>O). Nessas condições, o desperdício de energia ( $\Delta P\%$ ) seria dado pela razão entre essas duas parcelas:

$$\Delta P = 1 - \left( \frac{1000 \cdot \frac{151}{3600} \cdot 23,9}{0,736 \cdot 75,67\%} \right) - \left( \frac{1000 \cdot \frac{176}{3600} \cdot 39,5}{0,736 \cdot 75,67\%} \right) = 48\%$$

Ou seja, à montante dos conjuntos de válvulas é fornecida uma quantidade de energia que imediatamente após a passagem pelas válvulas é quebrada pelas válvulas. Essa quebra de energia representa quase 50% da energia fornecida ao sistema a montante das válvulas.

Dado esse fato, a questão que se coloca é: até que ponto é válido instalar válvulas redutoras de pressão que cobrem praticamente toda uma zona de pressão, ou até mesmo válvulas já nas tubulações de saídas de reservatórios?

Outros aspectos devem ser levados em conta antes da implantação de um parque vasto de válvulas redutoras de pressão. As áreas com potencial para redução de pressões devem ser bem avaliadas. As decisões técnicas e econômicas devem comparar o imediatismo dos resultados obtidos pelas VRPs com os aspectos energéticos envolvidos em longo prazo e propostas mais consistentes de reformulações mais completas dos setores de abastecimento devem ser consideradas.

Em contrapartida ao primeiro caso, o estudo relativo a re-setorização do Setor Fonte propõem uma avaliação mais ampla do abastecimento público antes da tomada de ações.

O estudo de setorização levou em consideração a dinâmica da distribuição, as interfaces entre as zonas de pressão, a facilidade para efetuar as manutenções nas redes de distribuição, o controle operacional, controle de perdas, as deficiências do sistema atual entre outros.

Buscou-se o melhor equilíbrio possível na distribuição de forma a reduzir as pressões na distribuição harmoniosamente pelo simples fato de promover a homogeneização do plano piezométrico. Isto é, buscou-se introduzir o mínimo de perda de carga possível ao sistema de distribuição.

Nas simulações do setor fonte a redução de pressões se deu principalmente pelo melhor equilíbrio do plano piezométrico. Em alguns pontos a pressão na distribuição até mesmo aumentou.

A setorização original contava com apenas três zonas de pressão e nenhum subsetor. A nova proposta subdividiu o setor fonte em dez zonas de pressão principais e mais quatorze subsetores, sendo: oito áreas com controle de pressões e seis zonas de manobras.

As áreas cobertas por VRPs localizam-se principalmente nas extremidades do setor de abastecimento, onde estão localizadas as cotas mais baixas, correspondendo a uma extensão aproximada de 25% das redes de distribuição cobertas.

Conforme os cálculos teóricos, a subsetorização proposta é suficiente para reduzir a vazão noturna de 419 m<sup>3</sup>/h para 373 m<sup>3</sup>/h, equivalendo a uma redução de 12%, não considerando os efeitos da atuação das válvulas redutoras de pressão que poderiam minimizar ainda mais os valores das vazões noturnas.

Em ambos os casos foram obtidos resultados semelhantes em termos de redução percentual da vazão fornecida ao sistema. As principais diferenças residem no custo de implantação e no imediatismo dos resultados na redução das perdas reais.

Em termo de custos de implantação, a solução adotada no setor Ermelino é de menor custo e os resultados em redução de perdas são observados imediatamente após o início da operação das VRPs. Na solução do Setor Fonte a opção foi pela implantação dos distritos de medição e controle (DMCs) que facilitarão o controle operacional e o controle de perdas em áreas restritas e de mais fácil controle e pela melhoria no abastecimento de forma global.

Embora as soluções do Setor Fonte sejam de maior custo, os resultados na redução de perdas poderão ser bastante significativos após a inteira implantação do sistema proposto, pois será possível controlar e desenvolver ações para combate de perdas mais facilmente nos DMCs.

Ambas as soluções apresentadas possuem suas vantagens e desvantagens quando analisados os custos envolvidos e o período de retorno do investimento (“*pay-back*”).

Não se pode afirmar categoricamente qual é a melhor solução a ser adotada. Todos os aspectos técnicos e econômicos devem ser analisados.

A opção pela solução de longo prazo (Setor Fonte) ou pela solução de resultados imediatos (Setor Ermelino) passará por uma decisão gerencial que avaliará a disponibilidade dos recursos financeiros para realização dos projetos e obras, necessidades de resultados imediatos, retorno do investimento, custos de energia elétrica e manutenção envolvidos.

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle de pressões nas redes de distribuição é uma prática consagrada e freqüentemente utilizada pelas companhias de abastecimento de água para a redução das perdas reais.

No estudo de caso apresentado para o Setor Ermelino Matarazzo foi possível observar as curvas de consumo nos subsetores anterior e posterior à instalação de válvulas redutoras de pressão. Da análise dessas curvas pode-se concluir que as perdas reais de água foram imediatamente reduzidas após o início da operação das VRPs.

Por outro lado, o setor passou a ter 80% da extensão de rede da zona alta com controle de pressões, o que sob a ótica técnica representa, no mínimo, um desperdício de energia. Neste caso, despendeu-se energia para recalcar a água para as cotas mais altas do setor e a seguir essa energia foi quebrada pelas válvulas redutoras de pressão.

Em oposição à solução prática e de resultados imediatos, o Setor Fonte foi estudado em profundidade e proposta a reformulação completa da distribuição, através da subdivisão em diversas microzonas (DMCs), a partir das quais poderiam ser controladas as perdas de maneira mais localizada e com resultados, possivelmente, mais significativos no médio e longo prazos.

No Setor Fonte as VRPS foram utilizadas apenas como assessórios da distribuição, cumprindo sua função de reduzir as pressões nas regiões com as cotas mais baixas.

Toda essa reformulação estudada foi possível graças à utilização dos softwares de modelagem hidráulica disponíveis no mercado e que, embora não sejam ferramentas para simulações de perdas, representam um importante auxílio para o planejamento de um setor de abastecimento. O correto planejamento de um setor de abastecimento, por sua vez, implicará perdas de água reduzidas.

Portanto, o estudo mais abrangente da setorização deve estar acima de programas de instalação de válvulas redutoras de pressão. O binômio controle de perdas e redução no consumo de energia devem estar em perfeito equilíbrio e esse resultado só é possível, no horizonte de operação de um sistema de abastecimento público, através de uma setorização bastante planejada.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 7.1 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABB LIMITED. **Medidor eletromagnético de inserção Aquaprobe II**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.abb.com>>. Acessado em: ago. 2009.

ABNT. NBR 12218 – **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Associação Brasileira de normas Técnicas – ABNT. Rio de Janeiro, 1994.

AQUINO, V. **A luta para combater as perdas de água**. Revista Saneas, n.27, a. IX, p.5-6, setembro/ outubro 2007. São Paulo, 2007.

AWWA (American Water Works Association). **Water Loss Control Terms Defined**. Why the terms 'unaccounted-for' water and 'unaccounted-for percentage' just don't work!. Disponível em : <<http://www.awwa.org/Resources/WaterLossControl.cfm?ItemNumber=47866>> Acesso em: 12 jul. 2009.

BARTH, F.T. **Aspectos institucionais do gerenciamento de recursos hídricos**. In REBOUÇAS, A.C. et al. **Águas doces do Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação. 2ªed. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de livros Ltda., 2002.

BERMAD BRASIL. **Válvula de controle hidráulico de diafragma**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.bermad.com.br>>. Acessado em: ago. 2009.

CARRIJO, I.B. **Gerenciamento de informações como forma de minimizar perdas em sistemas de abastecimento de água potável**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001.

CONEJO, J.G.L.; LOPES, A.R.G.; MARCKA, E. **Medidas de redução de perdas elementos para planejamento** - DTA C3. Programa de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 31p. Brasília, 1999.

COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Cooperação técnica COPASA – ABAE. **Curso de Metodologia de Combate e Controle de Perdas**. Belém, 2005.

DENAPOLI, F.L. et al **Serviços de engenharia para controle de pressão e vazão com implantação de válvulas redutoras de pressão (VRP) controladas por telemetria**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations). **Estimated World Water Use**. Disponível em <[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_maps.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_maps.html)>. Acesso em: 18 jul. 2009.

FARLEY, M. **Leakage Management and Control** - A Best Practice Training Manual. World Health Organization, 163p. Geneva, 2001.

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in Water Distribution Networks**: a practitioner's guide to assessment, monitoring and control. 1<sup>st</sup> ed. London: IWA Publishing, 2003.

FORMIGA, K.T.; CHAUDHRY F.H. **Modelos de análise hidráulica de redes de distribuição de água considerando demanda dirigida pela pressão e vazamentos**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, vol.13, n.2, abr-jun 2008.

FREITAS, V.V. et al. **Uma década de controle de pressão nas redes de distribuição da Sabesp**. Revista DAE, n.176, a. LXXI, p.28-33, setembro 2007. São Paulo, 2007.

GALVÃO, J.R.B. **Avaliação da relação pressão x consumo em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs)**. Estudo de caso: rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2007. 247p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GONÇALVES, E.; LIMA C.V. **Guia Prático para Controle de Pressões na Rede e Operação de Válvulas Reguladoras** - DTA G4. Programa de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 54p. Brasília, 2005.

IWA / BLUE PAGES. **Losses from Water Supply Systems**: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. London: IWA Publishing, 2000.

LAMBERT, A. et al. **A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems**. AQUA, v.48, n.6, 1999.

LAMBERT, A.O.; THORNTON, J. **Avaliação de Perdas Reais**. Consultoria Técnica apresentada à Vice-presidência Metropolitana de Distribuição – M. Sabesp. São Paulo, 2002.

LIEMBERGER, R. et al. **Water Loss Performance Indicators**. In: WATER LOSS 2007, 3., Bucareste. **Resumo dos trabalhos**. Disponível em: <[http://waterloss2007.com/pdf\\_vortraege/overview.html](http://waterloss2007.com/pdf_vortraege/overview.html)>. Acesso em: 12 jul. 2009.

MARCKA, E. **Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água** - DTA A2. Programa de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 80p. Brasília, 2004.

MECALTEC INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Tubos Pitot** Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.mecaltec.com.br>>. Acessado em: ago. 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2007**. Parte 1 – Texto Visão Geral da Prestação de Serviços. Brasília, 2009.

OPPINGER, P. **Redução das perdas de água por meio do gerenciamento de pressão**. Revista Hydro, ano III, n. 28, p. 28-33, fevereiro 2009.

PALMER ENVIRONMENTAL LTD. **Controlador ControlMate**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.hwm-water.com>>. Acessado em: ago. 2009.

RODRIGUES, W. **Resposta dinâmica de válvula de controle automática em redes hidráulicas**. 1998. 100p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SABESP – MPI. **Programa de Redução de Perdas**. Relatório Analítico 2008, São Paulo: Sabesp, 2009.

SAINT-GOBAIN CANALIZAÇÃO. **Válvula de fluxo anular**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <[http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/ln\\_valvulas](http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/ln_valvulas)>. Acessado em: out. 2009.

SIQUEIRA, P.R. et al. **Aplicação de novos indicadores de perdas de água em sistemas de abastecimento**. In: 34ª Assembléia Nacional ASSEMAE - 8ª exposição de experiências municipais em saneamento. Caxias do Sul, 2004.

SOARES, D.M. **Programa de Controle e Redução de Perdas** - Diretoria Metropolitana de Distribuição – M. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo, 2004.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In: TSUTIYA, MILTON T. et al. Abastecimento de Água. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p 457-525.

TECHNOLOG LIMITED. **Controlador Modulo One; Data-logger Metrolog; Software PMAC Lite**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.technolog.com>>. Acessado em: ago. 2009.

THORNTON, J. **Managing leakage by managing pressure: a practical approach**. Water21, IWA Water Loss Task Force, p.43-44, 2003.

THORNTON, J. **Water loss control manual**. 1st ed. Hightstown: McGraw-Hill Professional, 2002.

TSUTIYA, M.T. et al. **Abastecimento de Água**. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p. 389-456.

VALLOY - INDUSTRIA E COMÉRCIO DE VÁLVULAS E ACESSÓRIOS LTDA. **Válvulas de controle válvula globo tipo "Y"**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.valloy.com.br>>. Acessado em: ago. 2009.

VIEIRA, A.C.C.; CAROZZI, E.C. **Resultados da metodologia de campo para quantificação das perdas reais (físicas) e aparentes (não físicas) em sistemas de abastecimento de água da Sabesp, como ferramenta de gestão do controle de perdas**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.

WATTS WATER TECHNOLOGIES. **Automatic control valves**. Catálogo do fabricante. Disponível em: <<http://www.watts.com>>. Acessado em: ago. 2009.

WESSEX ELETRONICS LTD. **Data-logger LoggerMate**. Catálogo do fabricante. Inglaterra, 1999.

WRI (World Resources Institute). **World treatment 2002-2004 decisions for the Earth: balance, voice and power**. Washington DC, 2003. Disponível em: <<http://www.wri.org>>. Acesso em: 18 jul. 2009.

YOSHIMOTO, P.M.; TARDELLI FILHO, J.; SARZEDAS, G.L. **Controle da pressão na rede - DTA D1**. Programa de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 43p. Brasília, 1999.

## 7.2 BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

AWWARF – AWWA Research Foundation. **Water and Revenue Losses: Unaccounted-for Water**. Denver: AWWARF / AWWA, 1987.

WRc / WSA / WCA. Engineering and Operations Committee. **Managing Leakage – UK Water Industry Managing Leakage Report G: Managing Water Pressure**. Swindon: WRc plc, 1994.

MAY, J. **Pressure Dependent Leakage**. World Water and Environmental Engineering, 1994.

SABESP/LYSA. **Programa de Redução de Águas Não-Faturadas**. Relatório Síntese, São Paulo: LYSA, 1993.

SABESP – MPI. **Programa de Redução de Perdas**. Relatório Síntese -M, São Paulo: Sabesp, 2008.