

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS INDICADORES DE EFICIENCIA HIDRO  
ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA – ANÁLISE DE  
MUNICÍPIOS DO SUL DE MINAS GERAIS.**

Fernando Rodrigues Soares

**Itajubá, agosto de 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS INDICADORES DE EFICIENCIA HIDRO  
ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA – ANÁLISE DE  
MUNICÍPIOS DO SUL DE MINAS GERAIS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de energia da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia.

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva.

**Itajubá, agosto de 2016**

## **Agradecimento**

Agradeço a minha família que sempre esteve do meu lado, principalmente meus pais Nelson, Ivete, minha esposa Adriana e meus filhos Renan e Rebeca.

Ao professor Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, orientador dessa dissertação, pelo apoio nas atividades cumpridas com seriedade e competência.

A coordenação da CAPES pela bolsa de estudo e pesquisa concedida durante os 24 meses do curso, a FAPEMIG pela compra de equipamentos e apoio de ida e volta a eventos e ao Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos NUMMARH, pela participação junto ao projeto vinculado a FINEP (Monitoramento, simulação e operação, junto ao projeto de água 983-10).

Aos amigos Thaisa, Marielle, Jéssica e Lucas pelo apoio tanto nas matérias do curso quanto nas campanhas de campo para obtenção dos dados que geraram nossas dissertações.

As companhias de abastecimento de água e esgoto SAAE das duas cidades envolvidas, pelo apoio e acompanhamento nas visitas de campo para coleta dos dados.

E a todos que me deram força e me incentivaram nessa caminhada rumo ao título de mestre em engenharia.

## **Resumo**

Indicadores são instrumentos de gestão que definem o perfil de uma rede de distribuição de água, o que ajuda o órgão gestor a propor melhorias. A importância de se estudar os indicadores é que estes auxiliam no diagnóstico de um sistema. Em sistemas hidroenergéticos pode-se relacionar consumo de energia, vazão de entrada do setor, demanda e pressões, a fim de identificar os sistemas e ter ferramentas para minimizar os custos energéticos e maximizar a confiabilidade hidráulica. Foram efetuadas campanhas de campo em duas cidades localizadas no sul de Minas Gerais, escolhidas para o estudo. Com os dados em mãos, foram calculados os principais indicadores de eficiência hídrica e energética da literatura. Os resultados indicaram diferenças representativas relativas às particularidades de cada município, indicando as principais características relacionadas às perdas de água e de energia. A cidade 1 apresentou valores de pressão e vazão praticamente o dobro da cidade 2 estudada, assim os indicadores de perdas mostraram essa influência. Com os indicadores de energia se verificou que a cidade 1 apresenta um consumo específico maior de energia proveniente de um problema operacional de uma das válvulas de retenção existente na saída das bombas. Assim se observa que um conjunto de indicadores é quem gera um diagnóstico completo do sistema.

Palavra chave: Indicadores hidroenergéticos, sistema de abastecimento de água, eficiência hídrica energética.

## **Abstract**

Indicators are management tools that define the profile of a distribution network of water, which helps the managing agency to propose improvements. The importance of studying the indicators is that they help in the diagnosis of a system. In hydro energy systems may relate to power consumption, industry input flow, demand and pressures in order to identify the systems and have tools to minimize energy costs and maximize hydraulic reliability. field campaigns were carried out in two cities located in southern Minas Gerais, chosen for the study. With the data in hand, the main indicators of water and energy efficiency literature were calculated. The results indicated representing differences in the particularities of each municipality, indicating the main characteristics related to losses of water and energy. The city 1 had pressure and flow almost double the city 2 studied, so the losses indicators showed this influence. With energy indicators it has been found that the city 1 has a higher specific energy consumption from an operational problem of the existing check valves at the outlet of the pump. Thus it is observed that a set of indicators is who generates a complete system diagnostics.

**Keyword:** Hydro energy indicators, water distribution systems, efficiency hydric and energy.

## Lista de figuras

Figura 1 – Lógica estrutural.....	16
Figura 2 - Indicadores propostos .....	19
Figura 3 –Volume de controle da rede de distribuição fictícia .....	28
Figura 4 – Cronograma das atividades desenvolvidas.....	31
Figura 5 - Treinamento com o equipamento medidor de vazão ultrassônico .....	32
Figura 6 - Treinamento com o equipamento DGPS .....	33
Figura 7 - Diagrama da rede de distribuição de água da cidade 1 .....	34
Figura 8 - (A) Reservatório R3. (B) Reservatório R4 .....	35
Figura 9 - Visita a estação de tratamento de água .....	36
Figura 10 - Zonas de elevação da rede de distribuição no setor.....	37
Figura 11 - Proposta da caixa para instalação dos equipamentos de medição .....	38
Figura 12 - Adequação do ponto de monitoramento para receber os equipamentos .....	39
Figura 13 - Ponto base georreferenciada .....	40
Figura 14 - DGPS base sendo configurado na base fixa .....	40
Figura 15 - DGPS móvel em campo .....	41
Figura 16 - Mapa de localização dos nós das residências .....	42
Figura 17 - Fluxo de água da rede de distribuição, desde o bombeamento .....	43
Figura 18 - Localização dos nós das residências.....	44
Figura 19 - 23 medidores de pressão, sendo testados no laboratório da UNIFEI .....	45
Figura 20 - Dois medidores de vazão e dois medidores de pressão (R4).....	46
Figura 21 – Dois medidores de vazão e dois medidores de pressão (R3) .....	46
Figura 22 - Analisador de energia da empresa contratada, já em campo (R3) .....	47
Figura 23 - Diagrama da rede de distribuição de água .....	48
Figura 24 - Medidor de pressão instalado em uma das residências cadastradas .....	49

Figura 25 - Medição do cavalete até ao centro da rua .....	50
Figura 26 - Medição do nível dos reservatórios . .....	50
Figura 27 - Equipamento protegido, plástico e caixote de madeira .....	51
Figura 28 - Proteção das caixas com lona preta e cadeado .....	51
Figura 29 - Reparo do vazamento na Rua Xavante .....	51
Figura 30 - Coleta de dados geográficos nos registros que controlam a vazão.....	52
Figura 31 - Teste de abertura do registro .....	52
Figura 32 - Esquema do abastecimento de água do setor de estudo.....	55
Figura 33 - Setor previamente escolhido.....	56
Figura 34 - Desenho Autocad do setor escolhido .....	57
Figura 35 - Setor isolado com os nós escolhidos .....	58
Figura 36 - Pontos de monitoramento de pressão.....	59
Figura 37 - Ponto catalogado e transferido para a cidade 1.....	61
Figura 38 - Equipamentos em campo, instalados e protegidos . .....	61
Figura 39 - Posto de visita para instalação dos equipamentos de vazão e pressão .....	62
Figura 40 - Sistema de bombeamento Vila Nova .....	63
Figura 41 - Medidores de pressão retirados das residências .....	64
Figura 42 - Medidor de vazão ultrassônico no poço de visita .....	64
Figura 43 - Pressão baixa, região próximo ao reservatório .....	69
Figura 44 - Pressão alta, região de baixa altitude, cerca de 80 mca .....	70
Figura 45 - Pressão de durante o dia aceitável . .....	70
Figura 46 - Alta pressão na madrugada e muito baixa durante o dia 10 .....	71
Figura 47 - Pressão média elevada, picos de 80 mca na madrugada .....	71
Figura 48 - Vazão/tempo do medidor ultrassônico (sai de R4 para o setor) .....	72
Figura 49 - Vazão/tempo do medidor ultrassônico (sobra que chega em R4) .....	73
Figura 50 - Vazão/tempo (l/s) dos medidores ultrassônicos (saem de R3) .....	74

Figura 51 - Pressão elevada, acima de 80 mca .....	75
Figura 52 - Pressão aceitável na parte mais alta da rede .....	75
Figura 53 - Vazão na entrada do setor para os 7 dias de monitoramento (cidade 2) .....	76
Figura 54 - Vazão na entrada do setor no dia 09/10/14 (cidade 1) .....	78
Figura 55 - Vazão na entrada do setor para os 7 dias de monitoramento (cidade 1) ....	79
Figura 56 - Consumo diário de energia .....	81
Figura 57 - Curva de carga do dia 12/10/2014 .....	82
Figura 58 - Consumo diário em kWh da bomba .....	93
Figura 59 - Vazão na entrada do sistema (posto de visita) .....	94
Figura 60 - Curva de carga do dia 21/09/2014 .....	96
Figura 61 - Utilização da capacidade de bombeamento (%) .....	107
Figura 62 - Consumo de energia normalizada (kWh/m <sup>3</sup> /100m) .....	108
Figura 63 - Consumo de energia reativa .....	109
Figura 64 - Densidade de válvulas .....	109
Figura 65 - Grau de automação .....	110
Figura 66 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos .....	111
Figura 67 - Perdas de água por ramal .....	111
Figura 68 - Perdas de água por comprimento de conduta .....	112
Figura 69 - Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema .....	113
Figura 70 - Perdas reais por ramal .....	113
Figura 71 - Perdas por comprimento de conduto .....	114
Figura 72 - Indicador de infraestrutura de fugas .....	114
Figura 73 - Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume .....	115
Figura 74 - Indicador de água não medida .....	115
Figura 75 - Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia) .....	116



## Lista de tabelas

Tabela 1 - Número de participantes por estado .....	17
Tabela 2 - Formação acadêmica dos envolvidos .....	17
Tabela 3 - Indicadores com maior índice de aprovação. ....	17
Tabela 4 - Indicadores com maior índice de rejeição .....	18
Tabela 5 - Indicadores de recursos hídricos .....	20
Tabela 6 - Indicadores de recursos humanos .....	21
Tabela 7 - Indicadores de desempenho de infraestrutura .....	22
Tabela 8 - Indicadores de desempenho operacional .....	23
Tabela 9 - Indicadores de desempenho de qualidade de serviço .....	24
Tabela 10 - Indicadores de desempenho econômico-financeiro .....	25
Tabela 11 - Localização dos registros no setor de estudo .....	53
Tabela 12 - Altitude dos principais pontos estudados .....	60
Tabela 13 - Número de ramais do setor estudado .....	77
Tabela 14 - Consumo em kWh das bombas do reservatório R3 .....	78
Tabela 15 - Consumo de energia em R3 e proporcional ao setor .....	79
Tabela 16 - Balanço hídrico do setor em estudo, cidade 1 .....	80
Tabela 17 - Volume bombeado no período de referencia .....	83
Tabela 18 - Média do consumo de energia (D1) .....	84
Tabela 19 - Faixa de eficiência energética .....	85
Tabela 20 - Bandas de referência para redução de perdas .....	88
Tabela 21 - Valores indicativos de perdas mínimas (l/ramal /dia) .....	92
Tabela 22 - Número de ramais do setor estudado .....	93
Tabela 23 - Balanço hídrico do setor em estudo da cidade 2 .....	95

Tabela 24 - Dados coletados em campo .....	97
Tabela 25 - Faixa da eficiência energética .....	97
Tabela 26 - Bandas de referência para redução de perdas .....	100
Tabela 27 - Valores indicativos de perdas mínimas (l/ramal /dia) .....	103
Tabela 28 - Comparação dos parâmetros dos setores das cidades 1 e 2 .....	104
Tabela 29 - Comparação dos indicadores dos setores das cidades 1 e 2 .....	106
Tabela 30 - Valores indicativos de perdas mínimas (l/ramal /dia) <b>Erro! Indicador não definido.</b>	

## Sumário

Agradecimento.....	3
Abstract.....	5
Lista de figuras .....	6
Lista de tabelas .....	9
1 - Introdução.....	13
2 - Objetivos.....	15
2.1 - Objetivo geral.....	15
2.2 - Objetivos específicos .....	15
3 - Revisão de literatura .....	16
3.1 - Introdução aos indicadores .....	16
3.2 - Principais indicadores existentes para eficiência hidro energética.....	20
4 - Materiais e Métodos .....	30
4.1 - Treinamentos e aferição dos equipamentos .....	32
4.2 - Caracterização e atividades relacionadas a cidade 1.....	33
4.2.1 - Introdução.....	33
4.2.2 - Campanha de campo - Cidade 1.....	38
4.3 - Caracterização e atividades relacionadas a cidade 2.....	54
4.3.1 - Introdução.....	54
4.3.2 - Campanha de campo - Cidade 2.....	60
4.4 - Escolha dos indicadores utilizados no estudo .....	65

5 - Resultados.....	69
5.1 - Resultados Experimentais.....	69
5.1.1 - Resultados Experimentais - Cidade 1.....	69
5.1.2 - Resultados Experimentais - Cidade 2.....	75
5.2 - Cálculo dos indicadores.....	77
5.2.1 - Cálculo dos indicadores - Cidade 1.....	77
5.2.2 - Cálculo dos indicadores - Cidade 2.....	93
5.3 - Estudo comparativo das variáveis obtidas e dos indicadores calculados .....	104
5.3.1 - Estudo comparativo das variáveis obtidas .....	104
5.3.2 - Estudo comparativo dos indicadores calculados.....	106
6 - Conclusões e recomendações .....	117
6.1 - Conclusões .....	117
6.2 - Recomendações.....	118
7 - Referências .....	119

## **1 - Introdução**

Os sistemas de distribuição de água em geral utilizam grandes quantidades de recursos naturais. As perdas de água e energia são cada vez maiores atingindo em alguns casos até 60% do volume disponibilizado na entrada de respectivos setores em estudo. Para redução destas perdas, várias são as opções como a troca de tubulações, substituição de sistemas de bombeamentos, reabilitação de redes e mudança na operação por exemplo. Esta última é a mais econômica, pois dependem de menos investimentos.

Nos últimos anos a crise tanto hídrica quanto energética vem tomando espaço na mídia nacional e internacional. O assunto é importante e preocupante por se tratar de dois elementos básicos do dia a dia da população, água e energia.

Neste trabalho, o enfoque são as perdas nas redes de distribuição de água e a energia gasta nas estações de bombeamento, onde estão relacionadas e se devem principalmente as perdas existentes e a operação inadequada, envolvendo controle de níveis de pressões, funcionamento de bombas entre outros fatores intervenientes.

A metodologia utilizada neste caso é o estudo da rede seja por visita as companhias de saneamento ou por medições de parâmetros hidráulicos e elétricos, gerando assim alguns indicadores para uma melhor compreensão e diagnóstico do sistema como um todo.

As visitas de campo se concentraram em coletar o máximo de dados para se desenvolver e gerar um estudo detalhado da rede de distribuição de água dos setores previamente escolhidos.

Levando em conta medições de vazão, pressão, nível, cotas altimétricas e energia elétrica consumida, o que se desenvolveu foi um estudo e cálculo de importantes indicadores para uma melhor gestão hidro energética do setor em estudo.

O tema em estudo é de suma importância por apresentar resultados e parâmetros que contribuem para cálculo de alguns importantes indicadores, com isso poder modelar e compreender melhor a rede de distribuição.

Foram desenvolvidos estudos dos principais indicadores para obter uma comparação entre os dois setores das cidades escolhidas. Essa comparação foi desenvolvida de forma simples para um melhor entendimento e comparação.

Esse estudo real foi desenvolvido na rede de distribuição de água de duas cidades montanhosas localizadas no sul de Minas Gerais.

Esse projeto foi vinculado à FINEP (financiamento de estudos de projetos e programas), onde envolveu uma rede de universidades, UNIFEI, UFMS, UFMT, UFPA, UFRGS e UFMG.

Os resultados obtidos no trabalho foram os cálculos dos principais indicadores existentes na literatura e que se encaixam na linha de pesquisa. Com esses valores em mãos se conseguiu descrever melhor o sistema, verificar falhas na distribuição e assim propor melhorias como, por exemplo, a inserção de buffers, reservatórios e válvulas redutoras de pressão, para controle e diminuição das perdas existentes.

## **2 - Objetivos**

### **2.1 - Objetivo geral**

Cálculo dos indicadores relacionados a sistemas hidro energéticos. O estudo de caso foi realizado para dois setores, uma em cada cidade, com base na campanha de campo desenvolvida e na seleção e cálculo dos principais indicadores da literatura.

### **2.2 - Objetivos específicos**

- Busca por dados e parâmetros importantes, como vazão, pressão, dados topográficos, número de ligações, entre outros.
- Avaliar e aplicar indicadores para se obter uma visão geral dos sistemas de distribuição de água das duas cidades em estudos;
- Calcular esses indicadores encontrados e fazer uma comparação construtiva;
- Destacar conhecimentos adquiridos a partir dos valores obtidos.

### 3 - Revisão de literatura

#### 3.1 - Introdução aos indicadores

Os indicadores são instrumentos de gestão que de forma simples ajudam no gerenciamento dos recursos hídricos.

Um relatório desenvolvido por Magalhães et al. (2003), gerou um resultado importante para o estudo de indicadores. Em seu contexto o estudo apresentou a síntese dos resultados (obtenção e interpretação de resultados feitos por especialistas) aplicados no país, envolvendo os indicadores, os mais valorizados e as tendências de pensamentos quanto aos principais eixos de ação na gestão das águas no país. *“É neste sentido que os indicadores compreendem importantes instrumentos de auxílio ao processo decisório na gestão das águas, facilitando a comunicação e a compreensão da realidade”*, Magalhães et al. (2003).

A lógica estrutural dos indicadores desenvolvida pelos pesquisadores foi descrita na figura 1. Essa estrutura reduz uma grande quantidade de dados a uma forma mais simples, para se entender o significado essencial.

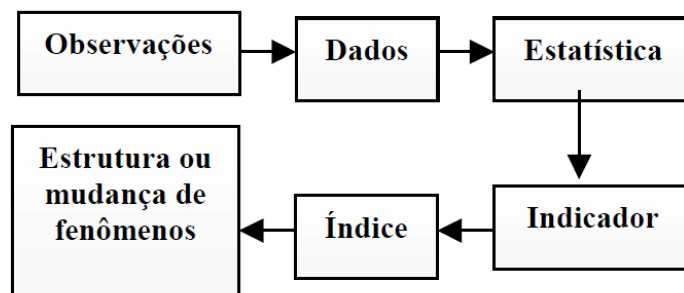


Figura 1 – Lógica estrutural, Magalhães et al. (2003).

Dois tipos de indicadores se firmaram durante o século XX com relação às políticas públicas relacionadas às águas no Brasil. Primeiramente o indicador de disponibilidade hídrica, correspondente ao setor de energia, de irrigação e de abastecimento (disponibilidade x demanda) e a outra o índice de qualidade da água, correspondente ao setor da saúde pública relacionado à sua potabilidade.



Alguns especialistas participaram da pesquisa, como mostrado por estado, na tabela 1. A maioria dos participantes vem dos estados mais desenvolvidos.

Tabela 1 - Número de participantes por estado, Magalhães et al. (2003).

Estado	Nº	%
<b>MG</b>	10	19
<b>SP</b>	09	18
<b>DF</b>	09	18
RJ	05	10
RS	04	8
SC	03	6
CE, PR e MS	02	4 % cada
AM, ES, GO, PA, PE	01	2 % cada

Em sua maioria são engenheiros civis, 32%, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Formação acadêmica dos envolvidos, Magalhães et al. (2003).

Áreas de Formação	Nº	%
Engenharia civil	32	63
Geografia	04	8
Biologia	03	6
Economia; Engenharia química; Geologia	02 cada	4 cada
Outros	6	11

A tabela 3 ilustra os principais indicadores selecionados pelos autores.

Tabela 3 - Indicadores com maior índice de aprovação, Magalhães et al. (2003).

Indicador	Nível local (%)	Nível nacional (%)
Densidade populacional (total, urbana, rural)	96	97
Índice de cobertura vegetal (%)	93	100
Taxa de conformidade da água - OD (% de amostras)	93	93
Índice de tratamento de efluentes coletados (%)	90	87
Índice de captação de água para abastecimento urbano (m <sup>3</sup> /hab.)	85	87
Índice de atendimento urbano de coleta de efluentes (% pop.)	84	87
Índice de urbanização	84	83
Índice de população não atendida por coleta de lixo (%)	83	86
Índice de consumo per capita de água (m <sup>3</sup> /hab)	80	81
Índice de captação de água para irrigação (m <sup>3</sup> /ha)	78	88
Índice de abastecimento urbano de água via rede (% pop.)	77	83

Já a tabela 4 mostra os indicadores mais rejeitados segundo estudo feito pelo autor.

Tabela 4 - Indicadores com maior índice de rejeição, Magalhães et al. (2003).

Indicadores	Nível local (%)	Nível nacional (%)
População ocupada por setor de atividade, em relação à pop. economicamente ativa (%)	72	69
Índice de densidade de drenagem urbana (comprimento dos cursos d'água/Km <sup>2</sup> )	58	56
Rendimento nominal médio mensal per capita (R\$/hab.)	57	59
PIB per capita (R\$/hab.)	55	51
IDH- Longevidade (0 a 1)	50	53

Outro importante documento foi desenvolvido por Castro et al. (2008), uma análise crítica utilizada para validar indicadores propostos que avaliam os efeitos da urbanização nos corpos de água. Na figura 2 se pode verificar os principais indicadores propostos para essa avaliação em questão.

A análise crítica realizada emprega a acessibilidade, objetividade, relevância, fidelidade, robustez e sensibilidade dos indicadores. Para isso, baseou-se na comparação com sistemas já estudados, consulta a especialistas, estudos de caso de áreas em situações distintas e comparações com outros estudos. Em seguida, foram mostrados os resultados que levaram à supressão, criação, junção ou melhorias nos indicadores.

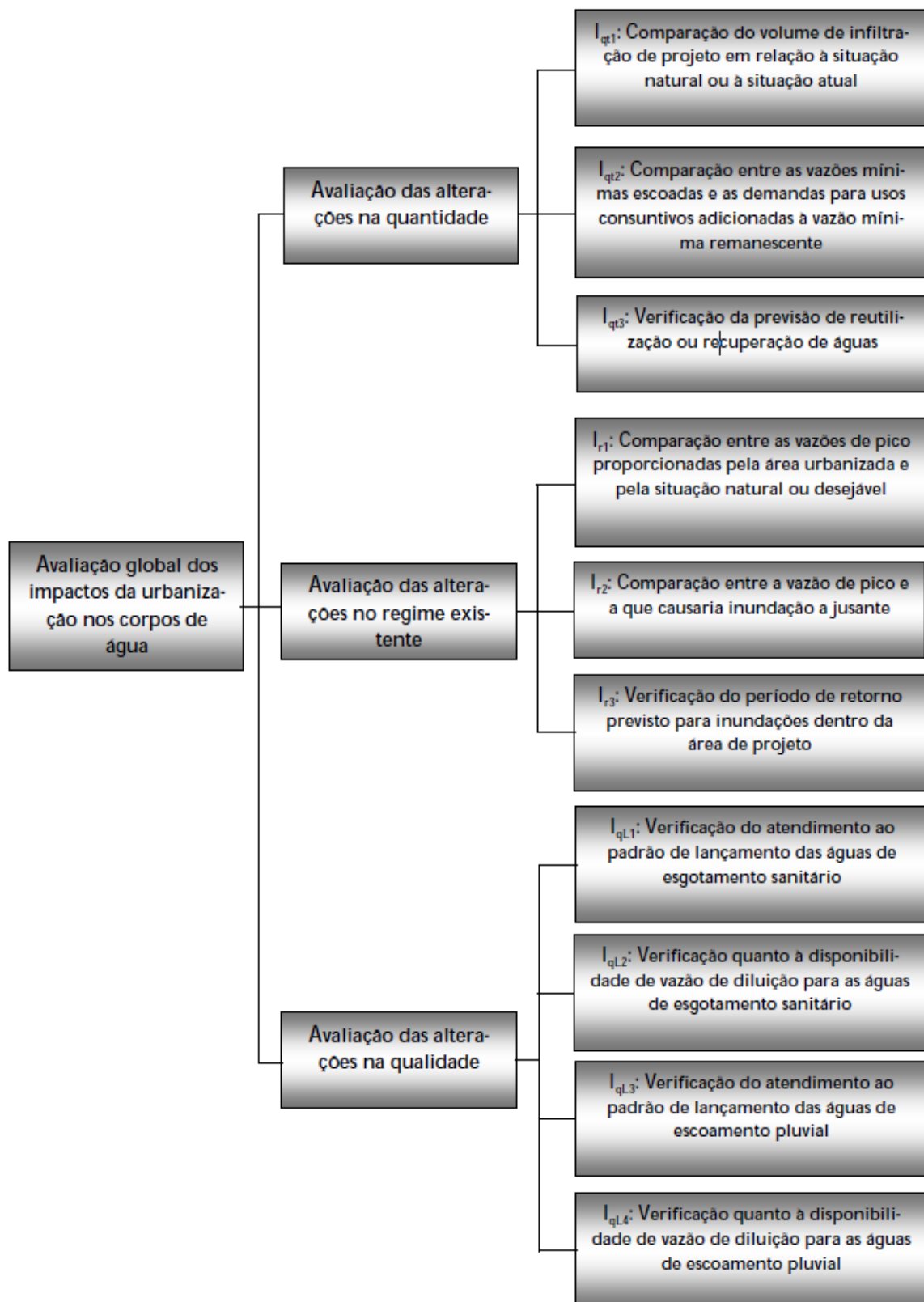


Figura 2 - Indicadores propostos para avaliação das alterações na qualidade, quantidade ou regime existente nos corpos de água, Castro et al. (2008).

### 3.2 - Principais indicadores existentes para eficiência hidro energética.

Na literatura, vários indicadores são citados e calculados, com isso alguns trabalhos se destacaram.

De acordo com Alegre et al. (2004), o indicador de desempenho (ID) é um instrumento de uso comum em muitas partes das companhias de distribuição de água. Seu trabalho especifica seis grupos de indicadores em destaque, totalizando 150 indicadores que seguem abaixo relacionados.

a) Indicadores de recursos hídricos (tabela 5).

Indica quanto de recurso hídrico está disponível e qual a ineficiência em sua utilização.

Tabela 5 - Indicadores de recursos hídricos, Alegre et al (2004).

<b>Indicadores de desempenho recursos hídricos</b>
WR1- Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)
WR2 - Disponibilidade de recursos hídricos (%)
WR3 - Disponibilidade de recursos hídricos próprios (%)
WR4 - Água reutilizada no abastecimento (%)

b) Indicadores de recursos humanos (tabela 6).

Este grupo de indicadores correlaciona parâmetros hidráulicos com as pessoas que atuam na companhia, mostrando assim qual a quantidade de funcionários por ramal, quais suas funções, se são qualificados e também se estão com saúde e trabalhando com segurança.

Tabela 6 - Indicadores de recursos humanos, Alegre et al. (2004).

<b>Indicadores de desempenho recursos humanos</b>
<b>Pessoal total</b>
Pe1 - Empregados por ramal (n.º/1000 ramais)
Pe2 - Empregados por água produzida (n.º/(106 m <sup>3</sup> /ano))
<b>Pessoal por função principal</b>
Pe3 - Pessoal dedicado à gestão global (%)
Pe4 - Pessoal dedicado à gestão de recursos humanos (%)
Pe5 - Pessoal dedicado à gestão financeira e comercial (%)
Pe6 - Pessoal dedicado à gestão de clientes (%)
Pe7 - Pessoal dedicado à gestão técnica (%)
Pe8 - Pessoal dedicado ao planeamento, ao projeto e à construção (%)
Pe9 - Pessoal dedicado à operação e à manutenção (%)
<b>Pessoal da gestão técnica por tipo de atividade</b>
Pe10 - Pessoal dedicado à gestão dos recursos hídricos e origens de água (n.º/(106 m <sup>3</sup> /ano))
Pe11 - Pessoal dedicado à captação e ao tratamento (n.º/(106 m <sup>3</sup> /ano))
Pe12 - Pessoal dedicado aos sistemas de adução, armazenamento e distribuição (n.º /100 km)
Pe13 - Pessoal dedicado à monitorização da qualidade da água (n.º/(10000 testes/ano))
Pe14 - Pessoal dedicado à gestão de contadores (n.º/1000 contadores)
Pe15 - Pessoal dos serviços de apoio (%)
<b>Qualificação do pessoal</b>
Pe16 - Pessoal com formação universitária (%)
Pe17 - Pessoal com a escolaridade mínima obrigatória (%)
Pe18 - Pessoal com outras qualificações (%)
<b>Formação do pessoal</b>
Pe19 - Tempo total de formação (horas/empregado/ano)
Pe20 - Formação interna (horas/empregado/ano)
Pe21 - Formação externa (horas/empregado/ano)
<b>Saúde e segurança do pessoal</b>
Pe22 - Acidentes de trabalho (n.º/empregado/ano)
Pe23 - Ausência (dias/empregado/ano)
Pe24 - Ausência por acidente de trabalho ou doença (dias/empregado/ano)
Pe25 - Ausência por outras razões (dias/empregados/ano)
<b>Horas extraordinárias</b>
Pe26 - Horas extraordinárias (%)

c) Indicadores de infraestrutura (tabela 7).

Estes indicadores mostram qual a situação da rede de distribuição. Indicam quais as condições de toda a rede desde a captação, tratamento, bombeamento, adução, distribuição, automação e controle de todo o sistema.

Tabela 7 - Indicadores de desempenho de infraestrutura, Alegre et al. (2004).

<b>Indicadores de desempenho infra estrutural</b>
<b>Tratamento</b>
Ph1 - Utilização das estações de tratamento (%)
<b>Armazenamento</b>
Ph2 - Capacidade de reserva de água bruta (dias)
Ph3 - Capacidade de reserva de água tratada (dias)
<b>Bombeamento</b>
Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento (%)
Ph5 - Consumo de energia normalizada (kWh/m <sup>3</sup> /100 m)
Ph6 - Consumo de energia reativa (%)
Ph7 - Recuperação de energia (%)
<b>Adução e distribuição</b>
<b>Válvulas e hidrantes</b>
Ph8 - Densidade de válvulas (n.º/km)
Ph9 - Densidade de hidrantes (n.º/km)
<b>Medidores de caudal</b>
Ph10 - Densidade de medidores de z.m.c. (n.º/1000 ramais)
Ph11 - Densidade de contadores de clientes (n.º/ramal)
Ph12 - Clientes com contador (n.º/cliente)
Ph13 - Clientes domésticos com contador (n.º/cliente)
<b>Automação e controlo</b>
Ph14 - Grau de automação (%)
Ph15 - Grau de controlo remoto (%)

d) Indicadores operacionais (tabela 8).

Estes indicadores orientam como deve se operar uma rede de distribuição, verificando equipamentos empregados na infraestrutura existente, substituindo e renovando condutas, válvulas, eletrobombas, verificando calibração, limpeza de tubulações, bombas e reservatórios, minimizando assim as perdas existentes em todo o sistema, melhorando a qualidade da água a partir do monitoramento das operações.

Tabela 8 - Indicadores de desempenho operacional, Alegre et al. (2004).

<b>Indicadores de desempenho operacionais</b>
<b>Inspeção e manutenção de infraestruturas</b>
<b>Inspeção de infraestruturas</b>
Op1 - Inspeção de grupos eletrobomba (n.º/ano)
Op2 - Limpeza de reservatórios (n.º/ano)
Op3 - Inspeção das redes (%/ano)
Op4 - Controle de fugas (%/ano)
Op5 - Reparações por controlo ativo de fugas (n.º/100 km/ano)
Op6 - Inspeção de hidrantes (n.º/ano)
<b>Calibração de instrumentação</b>
Op7 - Calibração de medidores de caudal de sistema (n.º/ano)
Op8 - Substituição de medidores de caudal (n.º/ano)
Op9 - Calibração de medidores de pressão (n.º/ano)
Op10 - Calibração de medidores de nível (n.º/ano)
Op11 - Calibração de equipamento de medição para monitorização de qualidade da água instalado em linha (n.º/ano)
<b>Inspeção de equipamento eléctrico e de transmissão de sinal</b>
Op12 - Inspeção de equipamentos de emergência (n.º/ano)
Op13 - Inspeção de equipamentos de transmissão de sinal (n.º/ano)
Op14 - Inspeção de quadros eléctricos (n.º/ano) Veículos
Op15 - Disponibilidade de veículos (n.º/100 km)
<b>Reabilitação de condutas, de válvulas e de ramais</b>
Op16 - Reabilitação de condutas (%/ano)
Op17 - Renovação de condutas (%/ano)
Op18 - Substituição de condutas (%/ano)
Op19 - Substituição de válvulas (%/ano)
Op20 - Reabilitação de ramais (%/ano)
<b>Reabilitação de grupos eletrobomba</b>
Op21 - Recuperação de grupos eletrobomba (%/ano)
Op22 - Substituição de grupos eletrobomba (%/ano)
<b>Perdas de água</b>
Op23 - Perdas de água por ramal (m <sup>3</sup> /ramal/ano)
Op24 - Perdas de água por comprimento de conduta (m <sup>3</sup> /km/dia)
Op25 - Perdas aparentes (%)
Op26 - Perdas aparentes por volume de água entrada no sistema (%)
Op27 - Perdas reais por ramal (l/ramal/dia com sistema em pressão)
Op28 - Perdas reais por comprimento de conduta (l/km /dia com sistema em pressão)

Op29 - Índice infraestrutura de fugas (-)
<b>Avarias</b>
Op30 - Danos em grupos eletrobomba (dias/grupo/ano)
Op31 - Danos em condutas (n.º/100 km/ano)
Op32 - Danos em ramais (n.º/1000 ramais/ano)
Op33 - Danos em hidrantes (n.º/1000 hidrantes/ano)
Op34 - Falhas de abastecimento elétrico (horas/estação elevatória/ano)
Op35 - Falhas de fontes (%)
<b>Medição de caudal</b>
Op36 - Eficiência de leitura dos contadores dos clientes (n.º) 26
Op37 - Eficiência de leitura dos contadores domésticos (n.º) 26
Op38 - Percentagem de contadores operacionais (%)
Op39 - Água não medida (%)
<b>Monitorização da qualidade da água tratada</b>
Op40 - Análises realizadas (%)
Op41 - Análises organolépticas realizadas (%)
Op42 - Análises microbiológicas realizadas (%)
Op43 - Análises físico-químicas realizadas (%)
Op44 - Análises à radioatividade realizadas (%)

e) Indicadores de qualidade de serviço (tabela 9).

Os indicadores em questão verificam a qualidade dos serviços prestados pelas empresas que gerenciam o tratamento e distribuição das águas. Mostra a percentagem de casas cobertas pela rede de distribuição de água tratada, as pressões e a qualidade da água fornecida.

Tabela 9 - Indicadores de desempenho de qualidade de serviço, Alegre et al. (2004).

<b>Indicadores de desempenho de qualidade de serviço</b>
<b>Serviço</b>
<b>Cobertura</b>
QS1 - Alojamentos servidos (%)
QS2 - Edifícios servidos (%)
QS3 - População servida (%)
QS4 - população servida por ramais (%)
QS5 - população servida por fontanários ou outros pontos de consumo público (%)



<b>Fontes ou outros pontos de consumo público (quando aplicável)</b>
QS6 - Pontos de consumo público operacional (%)
QS7 - Distância média dos pontos de consumo público aos consumidores (m)
QS8 - Capitação de água consumida em pontos de consumo público (l/hab./dia)
QS9 - População por torneira pública (hab./torneira)
<b>Pressão e continuidade de serviço</b>
QS10 - Adequação da pressão de serviço (%)
QS11 - Adequação do abastecimento na adução (%)

f) Indicadores de desempenho econômico-financeiro (tabela 10)

Demonstra o desempenho econômico e financeiro das empresas de saneamento, apontando qual o índice de eficiência, investimentos, liquidez, rentabilidade e perdas existentes.

Tabela 10 - Indicadores de desempenho econômico-financeiro, Alegre et al. (2004).

<b>Indicadores de desempenho econômico-financeiro</b>
<b>Proveitos</b>
Fi1 - Proveito unitário (US\$/m <sup>3</sup> )
Fi2 - Proveitos de vendas (%)
Fi3 - Outros proveitos (%)
<b>Custos</b>
Fi4 - Custo unitário total (US\$/m <sup>3</sup> )
Fi5 - Custos unitários correntes (US\$/m <sup>3</sup> )
Fi6 - Custos unitários de capital (US\$/m <sup>3</sup> )
<b>Composição dos custos correntes por tipo de custo</b>
Fi7 - Custos de pessoal (%)
Fi8 - Custos de serviços externos (%)
Fi9 - Custos da água importada (bruta e tratada) (%)
Fi10 - Custos de energia eléctrica (%)
Fi11 - Outros custos correntes (%)
<b>Composição dos custos correntes por tipo de função da entidade gestora</b>
Fi12 - Custos das funções de gestão global (%)
Fi13 - Custos das funções de gestão de recursos humanos (%)
Fi14 - Custos das funções financeiras e comerciais (%)
Fi15 - Custos das funções de gestão de clientes (%)
Fi16 - Custos das funções de gestão técnica (%)
<b>Composição dos custos correntes por tipo de atividade</b>
Fi17 - Custos da gestão dos recursos hídricos e origens de água (%)

Fi18 - Custos da captação e do tratamento (%)
Fi19 - Custos da adução, do armazenamento e da distribuição (%)
Fi20 - Custos da monitorização da qualidade da água (%)
Fi21 - Custos da gestão de contadores (%)
Fi22 - Custos dos serviços de apoio (%)
<b>Composição dos custos de capital</b>
Fi23 - Amortizações (%)
Fi24 - Custos financeiros líquidos (%)
<b>Investimento</b>
Fi25 - Investimento unitário (US\$/m3)
Fi26 - Investimento para construção de sistemas ou reforço dos existentes (%)
Fi27 - Investimento para substituição e renovação de infraestruturas existentes (%)
<b>Preço médio de venda de água (antes de impostos públicos)</b>
Fi28 - Preço médio de venda para consumo direto (US\$/m3)
Fi29 - Preço médio de venda de água exportada (US\$/m3)
<b>Indicadores de eficiência</b>
Fi30 - Valor de cobertura dos custos (-)
Fi31 - Valor de cobertura dos custos correntes (-)
Fi32 - Atraso médio de recebimentos (dias equivalentes)
Fi33 - Valor de reposição do imobilizado (-)
Fi34 - Taxa de cobertura do investimento = CTI (%)
Fi35 - Idade média do imobilizado corpóreo (%)
Fi36 - Valor anual médio de amortizações (-)
Fi37 - Valor de aumento de dívida dos clientes (-)
Fi38 - Valor do inventário (-)
<b>Indicadores de “alavancagem”</b>
Fi39 - Taxa de cobertura do serviço da dívida (%)
Fi40 - Valor de solvabilidade (-) 32
<b>Indicador de liquidez</b>
Fi41 - Valor de liquidez geral (-)
<b>Indicadores de Rentabilidade</b>
Fi42 - Rentabilidade do imobilizado (%)
Fi43 - Rentabilidade dos capitais próprios (%)
Fi44 - Rentabilidade do capital investido (%)
Fi45 - Valor de rotação do ativo (-)
<b>Perdas de água</b>
Fi46 - Água não faturada em termos de volume (%)
Fi47 - Água não faturada em termos de custo (%)

Outro documento importante e atual sobre indicadores estudado foi o SNIS (2013) que apresenta uma grade extensa de informações e indicadores capazes de possibilitar uma visão abrangente, de forma a se obter avaliações consistentes sobre o desempenho dos serviços em todo o país.

Segundo Silva et al. (1999, p. 01) “*A gestão de uma empresa de abastecimento de água fundamenta-se em um conjunto de dados gerais, sobre os quais se geram informações (dados tratados) para que possam ser exercidos os mecanismos de gestão, ou seja, tomadas de ações efetivas*”. Número de consumidores, quilometragem da rede, volume produzido e volume consumido, são alguns dos principais indicadores de gestão citados.

Outro trabalho importante foi sobre os indicadores de perdas no sistema de abastecimento de água de Rio Branco no Acre, desenvolvida por Moraes, et al (2010). Esse estudo mostrou as perdas no sistema de abastecimento de água que ocorrem tanto na estrutura física (vazamentos), quanto na gestão administrativa (ligações irregulares). Diante dessa situação de elevada perda no sistema de abastecimento de água, este trabalho visou identificar e quantificar os indicadores de perdas, com base nas informações disponíveis do sistema, propondo ainda algumas soluções para sua redução. Assim Moraes et al. (2010) sugeriram alguns procedimentos como, qualidade da macro e micromedição, minitarização, rotinas para cálculos e análise dos indicadores, informatização do processo e leituras bem feitas.

Segundo AMAES (2013), o “Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Cuiabá – PMSB”, estabelece a utilização de indicadores que permitam uma avaliação simples e objetiva do desempenho dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário da cidade. O objetivo foi acompanhar a ampliação progressiva dos serviços de saneamento básico a todos os domicílios ocupados, aos locais de trabalho e de convivência social, o que corresponde à universalização dos serviços, objetivo maior do plano. Indicadores de desempenho e metas, os indicadores gerenciais e os indicador do nível de cortesia e de qualidade percebida pelos usuários na prestação do serviço são os principais tópicos desse estudo.

Um importante trabalho sobre balanço hídrico e energético de rede de distribuição de água foi desenvolvido por Cabrera et al. (2010). A análise permitiu representar toda a energia no sistema, que mostra que o equilíbrio de energia deve se manter (figura 3). Este equilíbrio pode ser usado para obter indicadores de desempenho e avaliar o sistema do ponto de vista energético, identificando assim as ações de melhoria que irão tornar o sistema mais eficiente.

Os indicadores de desempenho são posteriormente utilizados para caracterizar todo o equilíbrio energético, permitindo a avaliação da eficiência energética da rede. A novidade mais relevante do balanço energético apresentado por Cabrera et al. (2010) foi a avaliação dos usos finais da energia injetada no sistema e, especificamente, a perda de energia associados com o vazamento. Tais resultados geram uma perda de energia a partir de dois termos diferentes, um associado com o vazamento de água para fora da rede e outra relacionada com a energia dissipada em perdas por atrito devido a vazão adicional necessário para compensar o vazamento enquanto atende a demandas.

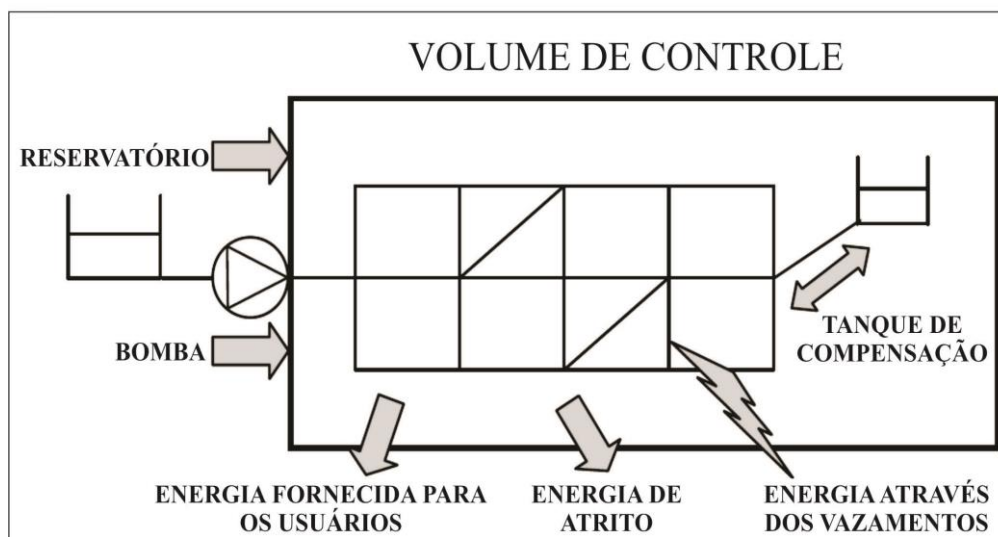


Figura 3 –Volume de controle da rede de distribuição fictícia com seus termos, Cabrera et al. (2010).

Outro trabalho importante a ser citado foi o de Vilanova (2012), que teve a iniciativa de desenvolver um conjunto de indicadores de eficiência hidráulica e energética para Sistemas de abastecimento de água (SAA), permitindo comparar a situação atual de um sistema, com a sua condição tecnicamente ótima, referente aos fatores e componentes, físicos e operacionais, mais relevantes no contexto hidráulico e energético. A condição ótima é calculada para se propiciar o menor consumo de energia e água atendendo os limites e requisitos operacionais do sistema estudado. Nesse contexto foram proposto 4 indicadores, indicador de operação otimizada de bombeamento, indicador de recuperação de energia hidráulica, indicador de carga hidráulica disponibilizada e indicador de eficiência hídrica.

Com isso se tem os trabalhos mais importantes e os mais atuais sobre o assunto “indicadores hidro energéticos em sistemas de distribuição de água”.

#### 4 - Materiais e Métodos

Para iniciar o estudo dos indicadores, foram necessários a coleta dos dados de todos os setores. Para isso ocorreram vários trabalhos de campo afim de adquirir esses dados.

Uma seleção minuciosa dos municípios que poderiam disponibilizar dados de forma fácil e ágil foi feita. Com isso firmou-se uma parceria com os municípios

Os contatos foram frequentes e com ajuda dos profissionais de plantão se escolheu os setores de estudo. Definido os setores isolados, iniciou os estudos referente as coletas dos dados, tais como:

- Cotas topográficas, utilizando o equipamento DGPS;
- Dados de Vazão, utilizando o equipamento medidores de vazão ultrassônico;
- Dados de pressão, utilizando o equipamento medidores de pressão;
- Dados de energia das bombas elevatórias utilizando o equipamento de medição de energia.

Para isso antes dos trabalhos de campo foi aplicado vários treinamentos com os equipamentos DGPS, Ultrassônico e de pressão, além de suas calibrações e aferições em laboratório.

O fluxograma da figura 4 , ilustra os trabalhos desenvolvidos. A etapa 1 teve como primeiro passo, procurar cidades com o perfil desejado, onde a companhia de saneamento tivesse interesse em formar parceria e sua localização fosse próximo à região de Itajubá-MG. Já na etapa 2, a mais longa e trabalhosa, foram realizados vários treinamentos com os equipamentos, a escolha dos setores das cidades a serem estudadas e finalmente as campanhas de campo. Na etapa 3, se procedeu a análise dos dados coletados nas campanhas de campo e também o estabelecimento de indicadores com seus respectivos cálculos e conclusões.

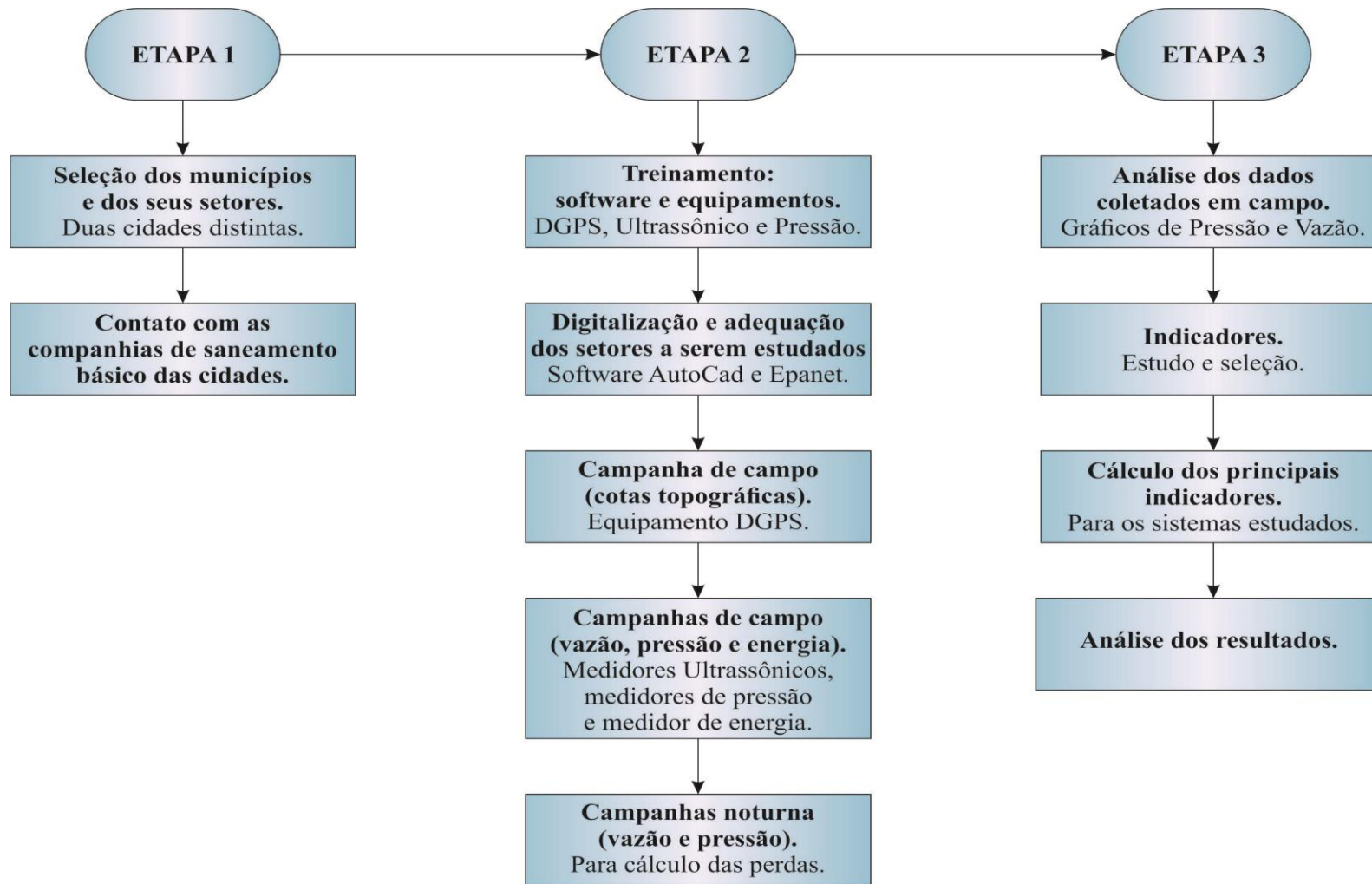


Figura 4 – Fluxograma das atividades desenvolvidas.

#### 4.1 - Treinamentos e aferição dos equipamentos

Os equipamentos utilizados nos trabalhos de campo foram estudados, testados e aferidos nos laboratórios da Universidade Federal de Itajubá.

O primeiro deles foi o DGPS, instrumento que gerou as cotas topográfica com grande precisão, utilizado nos dois setores para registro dos principais pontos previamente selecionados.

Outros equipamentos de fundamental importância foram os medidores de pressão e de vazão ultrassônicos, que registraram estas grandezas em forma de dados.

Os trabalhos de campo se concentraram em coletar o máximo de dados para se desenvolver e gerar um estudo detalhado dos indicadores hidro energéticos da rede de distribuição de água dos setores escolhidos. Esses dados são os de pressão dos nós, suas cotas topográficas, a vazão da entrada do sistema e o consumo de energia das bombas.

Esse estudo analisou em detalhes a rede de distribuição de água de um setor isolado, sendo essa setorização muito importante, pois tornou o sistema menos complexo.

Com a aquisição do medidor de vazão ultrassônico (figura 5) aplicou-se um treinamento, junto com parte da equipe, para assimilação dos principais comandos, seus detalhes para instalação e manuseio.



Figura 5 - Equipamento medidor de vazão ultrassônico.



Outro treinamento importante foi a do equipamento DGPS na própria universidade (UNIFEI), que foi quem nos forneceu o equipamento e deu todo apoio na coleta e geração das cotas geográficas dos pontos estudados (figura 6).



Figura 6 - Equipamento DGPS.

As atividades de campo foram realizadas pela equipe composta pelos alunos do mestrado, iniciação científica e pelo coordenador do projeto. Também foi feita a contratação de uma empresa, prevista no projeto, para fazer as medições de nível dos reservatórios e as medições elétricas das bombas de ambos os setores.

## 4.2 - Caracterização e atividades relacionadas a cidade 1

### 4.2.1 - Introdução

A cidade 1 fica em uma região montanhosa onde se desenvolveu o estudo referente ao cálculo de alguns indicadores da rede de distribuição de água nos bairros envolvidos na pesquisa.

Primeiramente a equipe de trabalho se deslocou a campo para escolha do melhor setor, verificação dos pontos para topografia e estudo dos locais de instalação dos equipamentos. O diagrama da figura 7 mostrou o sistema setorizado como um todo, assim de forma mais simples se consegue entender o processo em estudo.

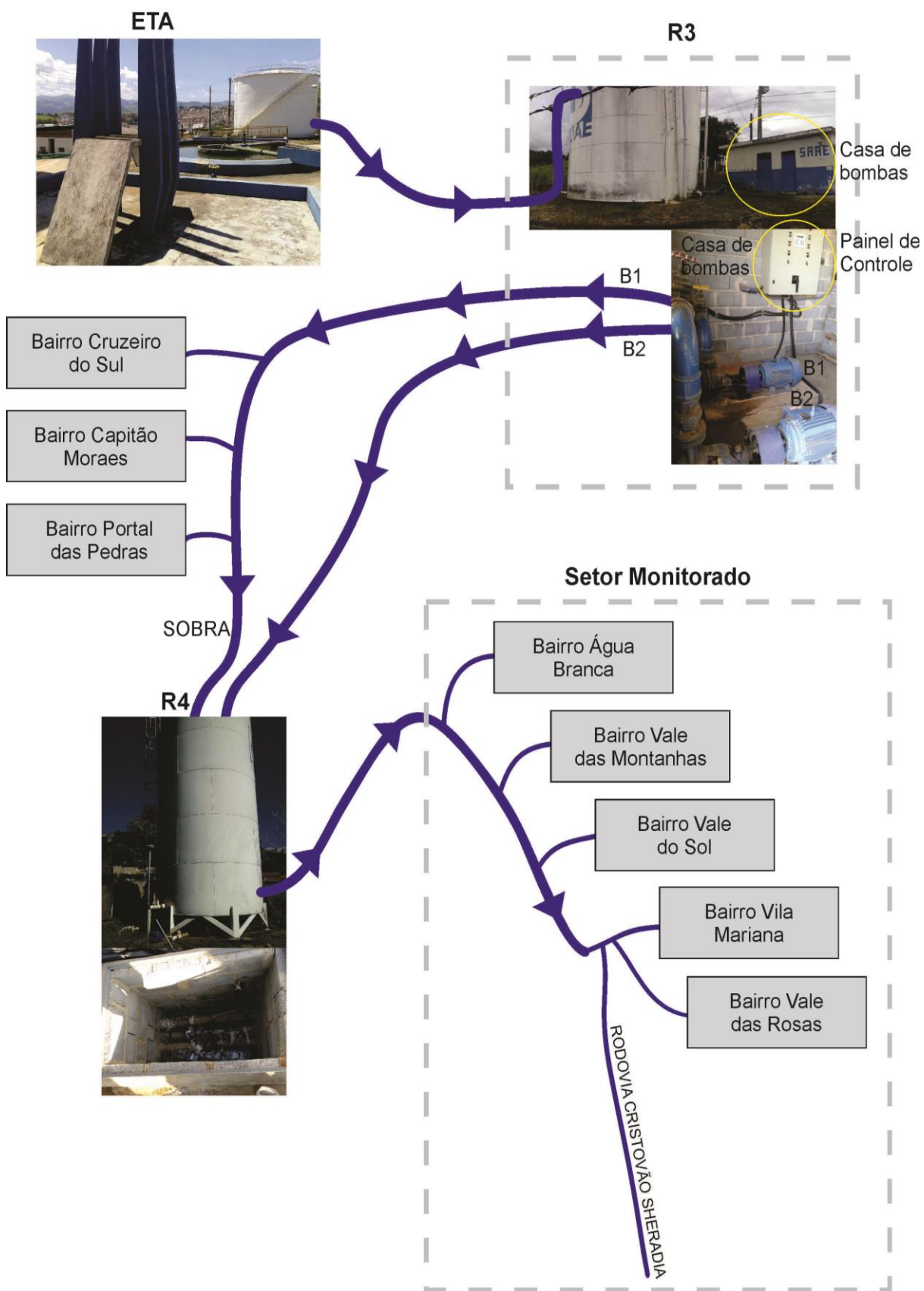


Figura 7 - Diagrama da rede de distribuição de água da cidade 1.

Na figura 6, mostra a ETA como ponto inicial da distribuição. Por um processo de bombeamento automático a água é encaminhada para o reservatório R3. Do reservatório R3 é bombeada, também de forma automática, para o reservatório R4 que por meio de duas tubulações, uma que passa por 3 bairros e outra que vai direto, alimentam o reservatório R4. A partir de R4 por gravidade se abastece o setor em estudo.

No primeiro dia de visita a campo, o foco principal foi verificar qual o melhor setor a ser estudado. Com o setor já escolhido, se visitou os reservatórios (R3 e R4) como mostrado na figura 8. O setor foi selecionado por apresentar uma única vazão de entrada, vindo de R4.



(A)



(B)

Figura 8 - (A) Reservatório R3. (B) Reservatório R4.

Em umas das primeiras viagens à campo alguns pontos estratégicos foram visitados, como a ETA (figura 9) e também com o auxílio dos técnicos responsáveis foram solucionadas algumas dúvidas a respeito da rede de distribuição.



Figura 9 - ETA (estação de tratamento de água).

Para o monitoramento de pressão foi gerado através do software EPANET, pela autora Goulart (2015), o desenho das zonas de elevação da rede de distribuição de água do setor isolado escolhido (figura 10). Esse mapa auxiliou na escolha dos nós para instalação dos medidores de pressão, em locais de baixa e alta pressão. Com essas zonas bem definidas, se distribuiu os medidores de pressão por pontos estratégicos para gerar resultados próximos do real.



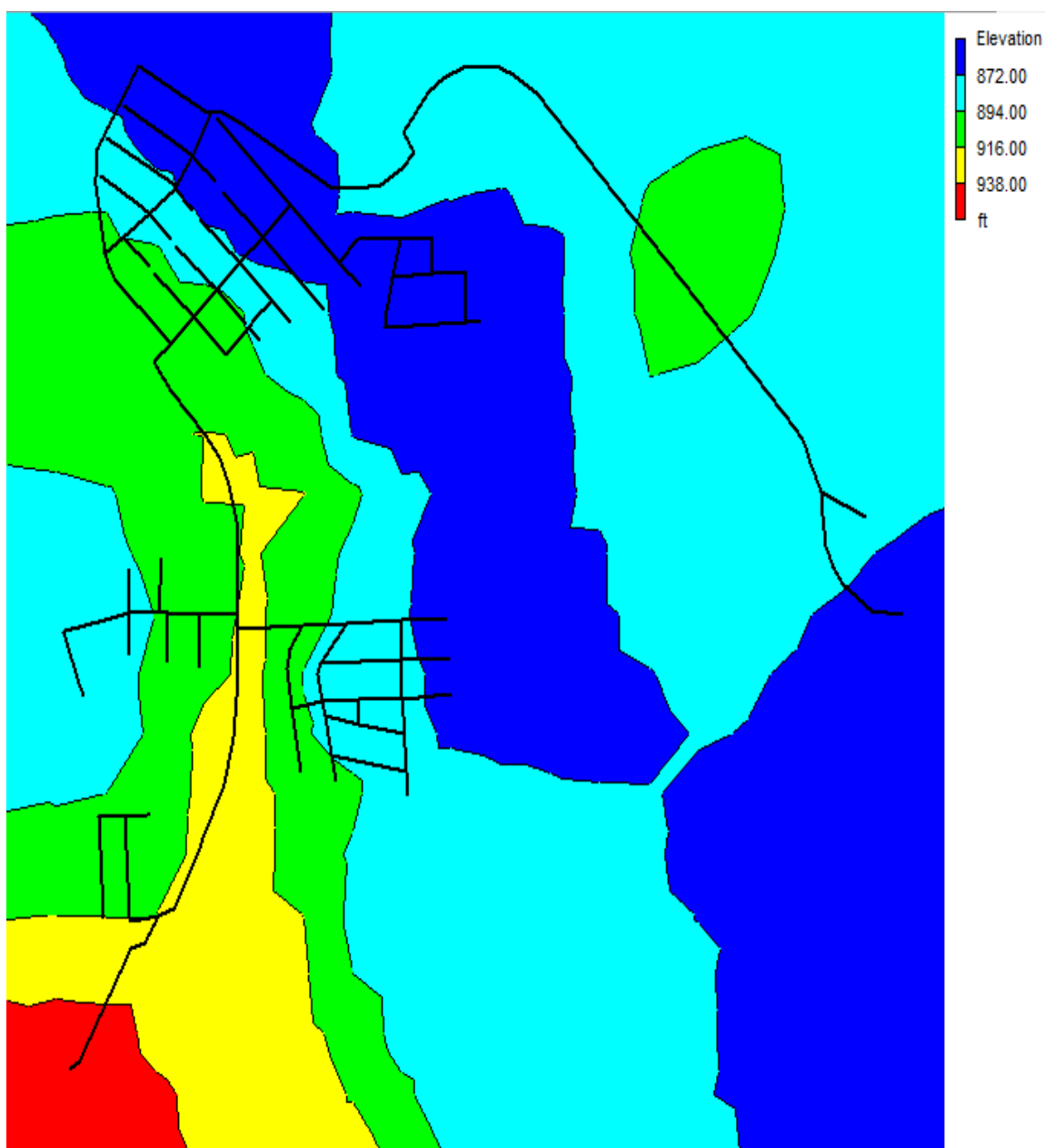


Figura 10 - Zonas de elevação da rede de distribuição no setor (Goulart, 2015).

Foram verificadas as adequações necessárias aos pontos de medidas hidráulicas e elétricas. Além disso, realizaram-se visitas às residências para verificar quais os locais de melhor acesso entre os pontos estratégicos estudados, para a instalação dos medidores de pressão.

#### 4.2.2 - Campanha de campo - Cidade 1.

Com os equipamentos devidamente testados e calibrados e com o setor de estudo definido, se inicia os trabalhos de campo para coleta dos dados.

Foram desenvolvidas algumas adequações físicas nos reservatórios para poderem receber os equipamentos. A principal delas foi à construção de compartimentos de segurança e proteção (caixa ou poço de visita) para alocação dos medidores de vazão ultrassônicos. Para isso, foram projetadas essas caixas (figura 11), de modo a possibilitar o manuseio dos equipamentos pelo controlador. Foram indicadas as seguintes medidas: 2,0 m (comprimento) x 1,5 m (largura) x sobra de 0,5 m abaixo da tubulação (altura). Um dreno foi projetado para proteção do equipamento caso ocorressem chuvas em excesso.

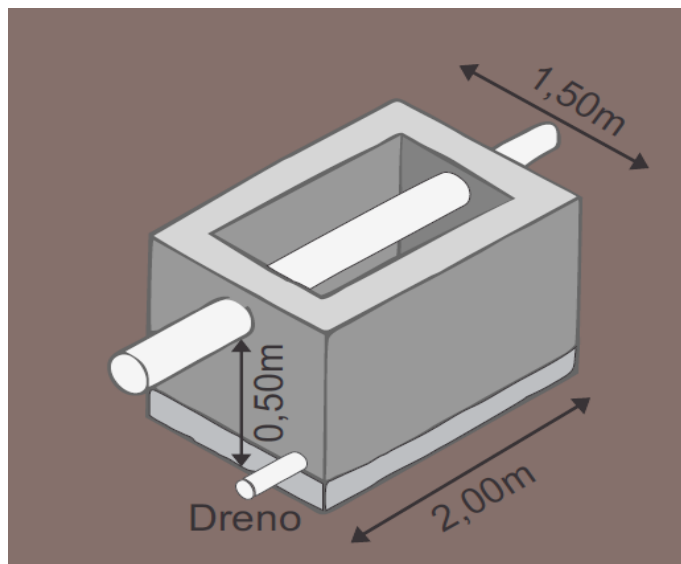


Figura 11 - Proposta da caixa para instalação dos equipamentos de medição.

Após a construção dos poços de visita nos reservatórios 3 e 4 desenvolveu-se uma inspeção final dos elementos estruturais e seus detalhes para que não ocorressem imprevistos na campanhas de campo.

A figura 12 foi apresentada a estrutura necessária para a instalação dos equipamentos que iram monitorar pressão e vazão durante os sete dias.

Nas tubulações dentro das caixas foram criados adaptadores para receberem os medidores de pressão. Já os medidores de vazão não necessitam de intervenção na tubulação, pois são instalados na parte externa dos tubos. Outro item importante foi o ponto de energia para ligação do medidor de vazão, já que os medidores de pressão não necessitam de energia externa, pois possuem baterias de alta durabilidade.



Figura 12 - Adequação do ponto de monitoramento para receber os equipamentos.

Outro passo importante do trabalho foi o levantamento topográfico de cada nó utilizando o equipamento DGPS mencionado anteriormente. Foram 154 pontos catalogados pela equipe em aproximadamente 4 dias de coleta.

O DGPS base foi instalado no alto da montanha, onde existia um ponto georreferenciado e catalogado por uma empresa da cidade, que disponibilizou o local (figura 13) e um relatório da estação utilizada como base. A figura 14 mostra a equipe configurando o equipamento na base fixa.



Figura 13 - Ponto base georreferenciada.



Figura 14 - DGPS base sendo configurado na base fixa.

O segundo DGPS (móvel) foi utilizado na coleta dos 154 pontos em questão, em quatro dias de coleta, como mostrado na figura 15.



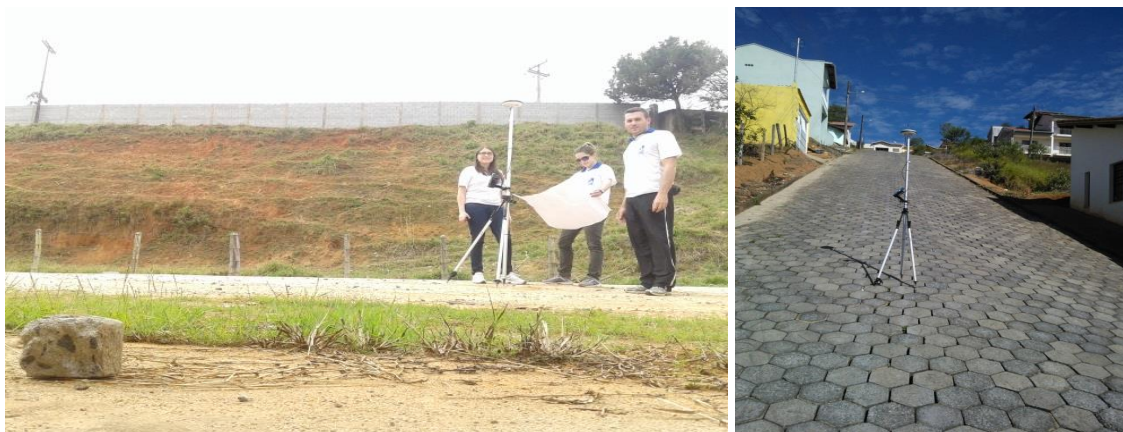


Figura 15 - DGPS móvel em campo.

Esses pontos topográficos foram coletados no centro da rua com o equipamento DGPS, onde cada nó foi catalogado com uma duração de 5 minutos, para melhor fixação do ponto. O tripé fica em linha reta e a  $90^\circ$  do cavalete em relação ao plano.

Com todos os nós catalogados se desenhou a rede do setor em estudo de forma precisa, como mostra a figura 16. Os nós de 139 a 154 são próximos às casas escolhidas para a medição de pressão e por isso suas cotas topográficas foram coletadas novamente, evitando possíveis erros.

Foi desenvolvido um cadastro simples das residências para facilitar a instalação dos medidores de pressão nos dias de campanha de campo. Informações simples dos proprietários como nome, telefone, endereço, número do medidor, altura do cavalete, distancia do centro ao nó, se a torneira precisa de adaptador, melhor horário para instalação do medidor de pressão, entre outros itens.

Outros valores disponibilizados pela companhia de saneamento são os que se referem à rede como, comprimento, diâmetro, material das tubulações, desenhos das redes e profundidade da tubulação. O setor escolhido possui bairros novos logo a probabilidade de perdas por vazamento é pequena.

A figura 17 propõe uma visão geral do fluxo de água na rede de distribuição, desde o bombeamento de R3 (bombas 1 e 2 em paralelo) até R4 e assim distribuídos por gravidade para o setor em estudo. Duas tubulações levam a água de R3 para R4, onde uma delas abastecem 3 bairros antes de chegar ao reservatório R4, já a outra segue direto. Assim a partir desse ponto a distribuição é feita por gravidade para os bairros Vale das Montanhas, Vale do Sol e Vila Mariana, setor escolhido.

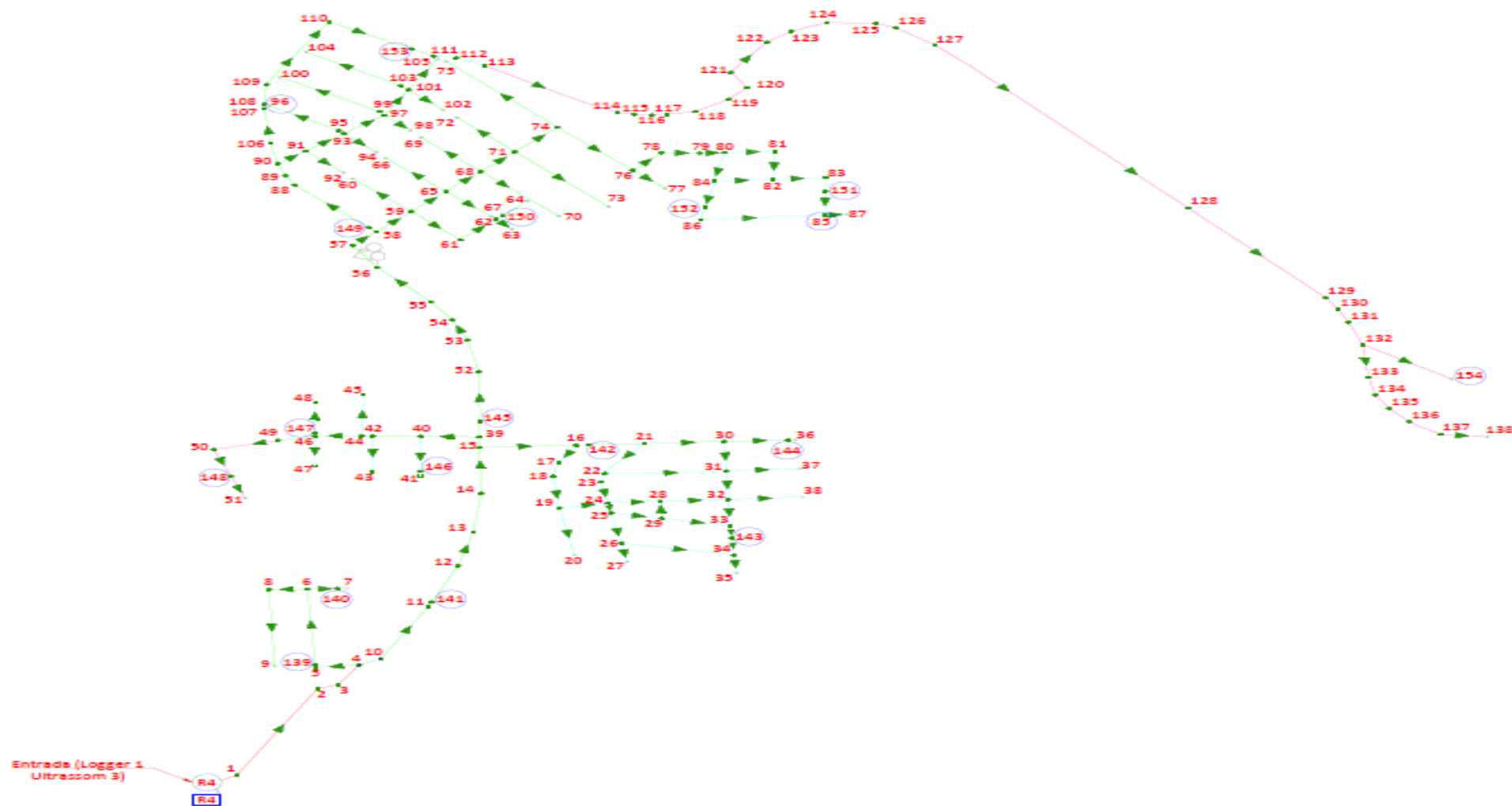


Figura 16 - Mapa de localização dos nós das residências (Goulart, 2015).

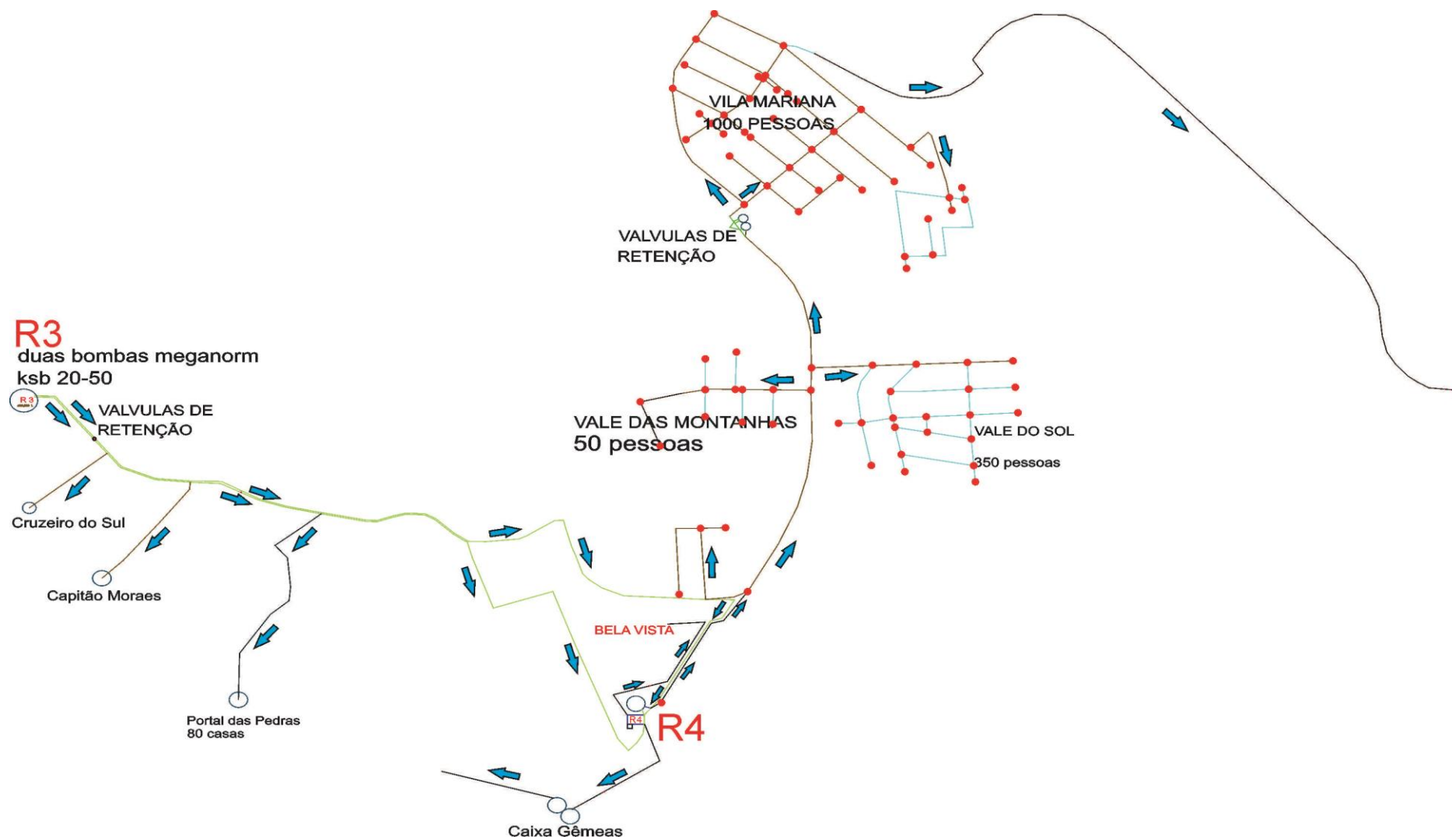


Figura 17 - Fluxo de água da rede de distribuição, desde o bombeamento.

A figura 18, gerada através do programa EPANET, retrata as zonas topográficas bem definidas e com o auxílio destas foram escolhidos os nós que receberiam os medidores de pressão. As escolhas dos nós foram importantes por se tratar de regiões de baixa, média e alta pressão.

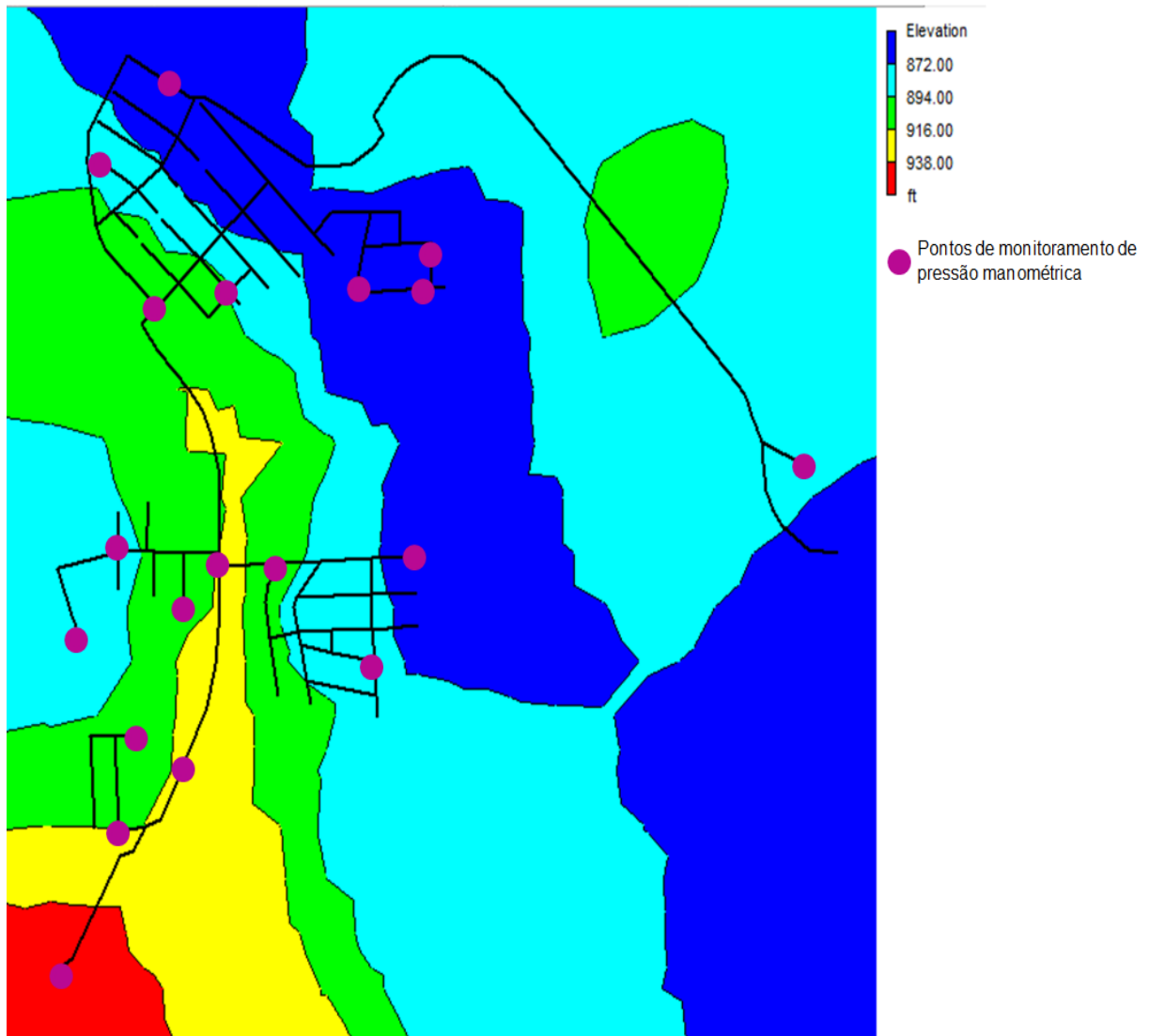


Figura 18 - Localização dos nós das residências que receberam os medidores de pressão, (Goulart, 2015).

No trabalho foram utilizados 23 medidores de pressão (figura 19) e 4 medidores de vazão ultrassônicos.



Figura 19 - Medidores de pressão, sendo testados no laboratório da UNIFEI.

Os equipamentos foram distribuídos da seguinte maneira:

- 1 medidor de pressão e 1 medidor ultrassônico no reservatório R4, entrada do setor (figura 20);
- 1 medidor de pressão e 1 medidor ultrassônico na tubulação da sobra que chega em R4 (figura 20);
- 1 medidor de pressão e 1 medidor ultrassônico no reservatório R3. Tubulação da bomba que distribui água para os bairros e direciona a sobra para o R4 (figura 21);
- 1 medidor de pressão e 1 medidor ultrassônico na tubulação da sobra de água que chega no reservatório R4 (figura 21);
- 18 medidores de pressão espalhados na rede de distribuição do setor. Devido à falta de local ideal para a instalação de medidores de pressão no bairro Vale das Rosas algumas residências, das poucas existentes, foram monitoradas pontualmente por 30min, em diferentes horários do dia;
- 1 medidores de pressão (n° 04) foi mantido como reserva, em caso de falha de algum medidor.
- 1 medidor de energia (consumo das bombas B1 e B2) instalado no reservatório R3 (figura 22).



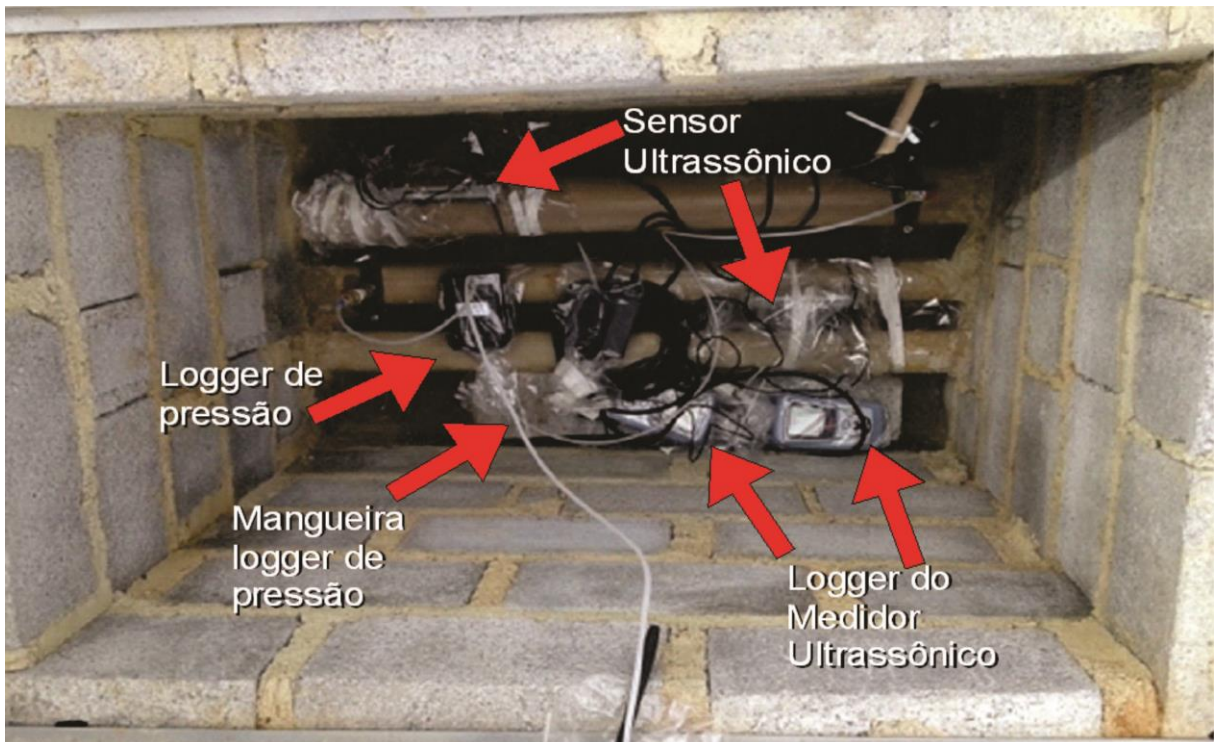


Figura 20 - Dois medidores de vazão ultrassônicos e dois medidores de pressão em campo (reservatório R4), devidamente protegido contra respingos de água.



Figura 21 – Dois medidores de vazão ultrassônicos e dois medidores de pressão em campo (reservatório R3), devidamente protegido contra respingos de água.



Figura 22 - Analisador de energia da empresa contratada, já em campo (R3).

O analisador de energia (figura 22) foi instalado no painel de controle em R3, para monitorar as duas bombas lá existentes, procedendo à medida das grandezas elétricas.

Além da demanda de potência e da energia elétrica consumida, o analisador registra outras grandezas como os níveis de tensão, corrente elétrica, fator de potência, frequência e distorções harmônicas. Estes dados foram monitorados durante uma semana, com intervalos de medição de 1 minuto.

Os equipamentos foram acionados, medindo a vazão na saída B1 e B2, a sobra de B1 em R4 e por fim a vazão de saída de R4 para o setor em questão.

Na figura 23, ainda mais completa, mostra em destaque os medidores ultrassônicos em seu local de instalação.

As bombas estão em paralelo e alimentam o setor de estudo. Como apresentado dois medidores armazenam os dados de vazão da saída do reservatório R3, uma tubulação monitorada vai direto para o reservatório R4 e outra passa por 3 bairros antes de despejar sua sobra no R4.

Essa sobra também é monitorada para se verificar qual a quantidade de água que realmente chega ao reservatório, onde, o que não foi medido, seria o consumo dos 3 bairro mais as perdas existentes na rede de distribuição.



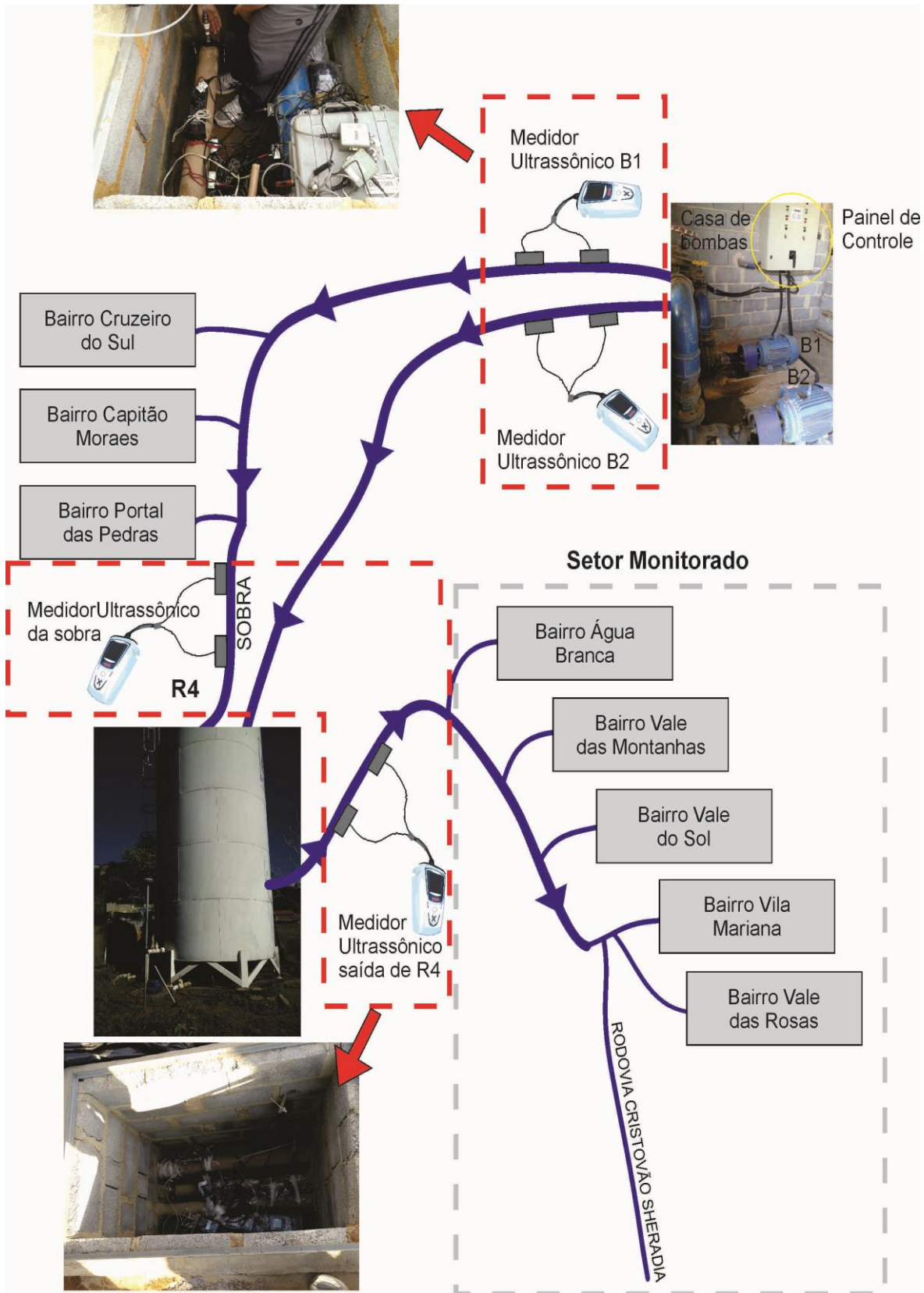


Figura 23 - Diagrama da rede de distribuição de água, em destaque os medidores ultrassônicos instalados.



Após a definição do local de medição de pressão, do diagnóstico do sistema e do planejamento da campanha de campo, iniciou-se a coleta de dados.

Essa campanha foi de suma importância por se tratar da coleta dos dados de pressão e vazão do setor em estudo, parâmetros elétricos das bombas e nível dos reservatórios. De acordo com a metodologia proposta pelo grupo de estudos, os dados foram coletados durante sete dias seguidos, ininterruptamente.

O primeiro passo foi instalar os medidores de vazão e pressão no reservatório R4, sendo um na tubulação que chega da sopra e outro na saída para o setor em estudo, como destacado na figura 21.

O próximo passo foi à ida as residências previamente cadastradas, para instalação dos medidores de pressão (figura 24).



Figura 24 - Medidor de pressão instalado em uma das residências cadastradas.

Aproveitou-se a visita para medir a distância do cavalete até o centro da rua e seu nível, para obtenção de uma topografia mais precisa dos pontos de pressão, como mostra a figura 25. Nela



Figura 25 – Medição para correção dos valores topográficos.

Também foram monitorados os níveis dos reservatórios R3 e R4, como ilustra a figura 26.



Figura 26 - Medição do nível dos reservatórios.

No momento da instalação dos equipamentos de pressão, foi colocado um saco plástico para proteger das chuvas e uma caixa de madeira para proteção contra animais (figura 27).



Figura 27 - Equipamento protegido, plástico e caixote de madeira.

Também se protegeu as caixas construídas em alvenaria, onde foram instalados os equipamentos de vazão. Como são equipamentos caros e que ficariam em campo por 7 dias, se colocou uma tranca nas caixas para maior segurança e também uma cobertura em lona preta (R3 e R4) para evitar possíveis respingos, como mostrado na figura 28.



Figura 28 - Proteção das caixas com lona preta e cadeado.

Com os equipamentos em posição, instalados e configurados, iniciou-se a coleta dos dados. Depois de finalizado o período de sete dias consecutivos de medição, os equipamentos foram desligados e removidos dos locais, para assim prosseguir com o planejamento e descarregamento os dados para tratamento das informações e análise.

Foi realizada mais uma visita de campo para coleta de dados geográficos dos locais onde foram instalados os medidores de pressão e também nos locais onde existem registros



para controle da vazão na rede de distribuição nos bairros. A Figura 30 mostra essa coleta de dados geográficos com o uso do DGPS no local onde se encontra um registro, que fica entre os bairros Água Branco e Vale das Montanhas.



Figura 30 - Coleta de dados geográficos nos registros que controlam a vazão para o bairro Vale das Montanhas.

Foi investigado junto ao funcionário da companhia de saneamento, sobre a atual situação dos registros nos setores de estudo e detectado que esses registros que controlam a vazão de água dos bairros Vale das Montanhas e Vale do Sol se encontravam em torno 30% abertos. Para levantamento de tal dado, se detectou que o registro fica totalmente aberto após 12 voltas consecutivas da chave de abertura e na situação atual, o registro estava em torno de três voltas e meio aberto. Os demais registros ficam todos abertos. Na Figura 31 foi mostrado o técnico responsável fazendo o teste de abertura do registro e na tabela 11 são relacionados os locais dos registros no setor de estudo.



Figura 31 – Verificação dos registros.

Tabela 11 - Localização dos registros no setor de estudo.

<b>Localização dos registros</b>	<b>Bairro</b>	<b>Situação</b>
Rua João Pimentel, n° 10	Água Branca	Aberto
Rua Guajajaras, esquina com Rua Bento Jacinto	Vale do Sol	30% aberto
Av. João Lopes de Souza, esquina com Rua Bento Jacinto	Vale das Montanhas	30% aberto
Av. Mariana Ramos Ribeiro	Vila Mariana	Aberto
Rua Herve de Campo Vargas (início da rua)	Vila Mariana	Aberto
Rua João Pimentel, n° 10	Água Branca	Aberto
Rua Guajajaras, esquina com Rua Bento Jacinto	Vale do Sol	30% aberto
Av. João Lopes de Souza, esquina com Rua Bento Jacinto	Vale das Montanhas	30% aberto
Av. Mariana Ramos Ribeiro	Vila Mariana	Aberto
Rua Herve de Campo Vargas (início da rua)	Vila Mariana	Aberto

Após o término do trabalho de campo, os dados foram tratados e analisados. Para facilitar o entendimento sobre as pressões existentes nos pontos selecionados da rede de distribuição, alguns gráficos importantes ilustram os fatos.

### **4.3 - Caracterização e atividades relacionadas a cidade 2.**

#### **4.3.1 - Introdução**

A cidade 2 também fica em uma região montanhosa onde se desenvolveu o estudo referente ao cálculo de alguns indicadores do setor escolhido.

Neste município os integrantes da equipe participaram da coleta dos dados de vazão, pressão e dos pontos topográficos do setor previamente escolhido. A autora Lamoglia (2013) já havia prospectado esses pontos porém sem a utilização do equipamento de precisão DGPS e sim a partir do Google Maps.

A equipe visitou o setor em estudo com o objetivo de prospecção dos pontos de monitoramento de pressão e vazão para os trabalhos de campo.

Como se observou na figura 32 a cidade possui 4 setores , onde apenas 1 deles é tratado neste trabalho.

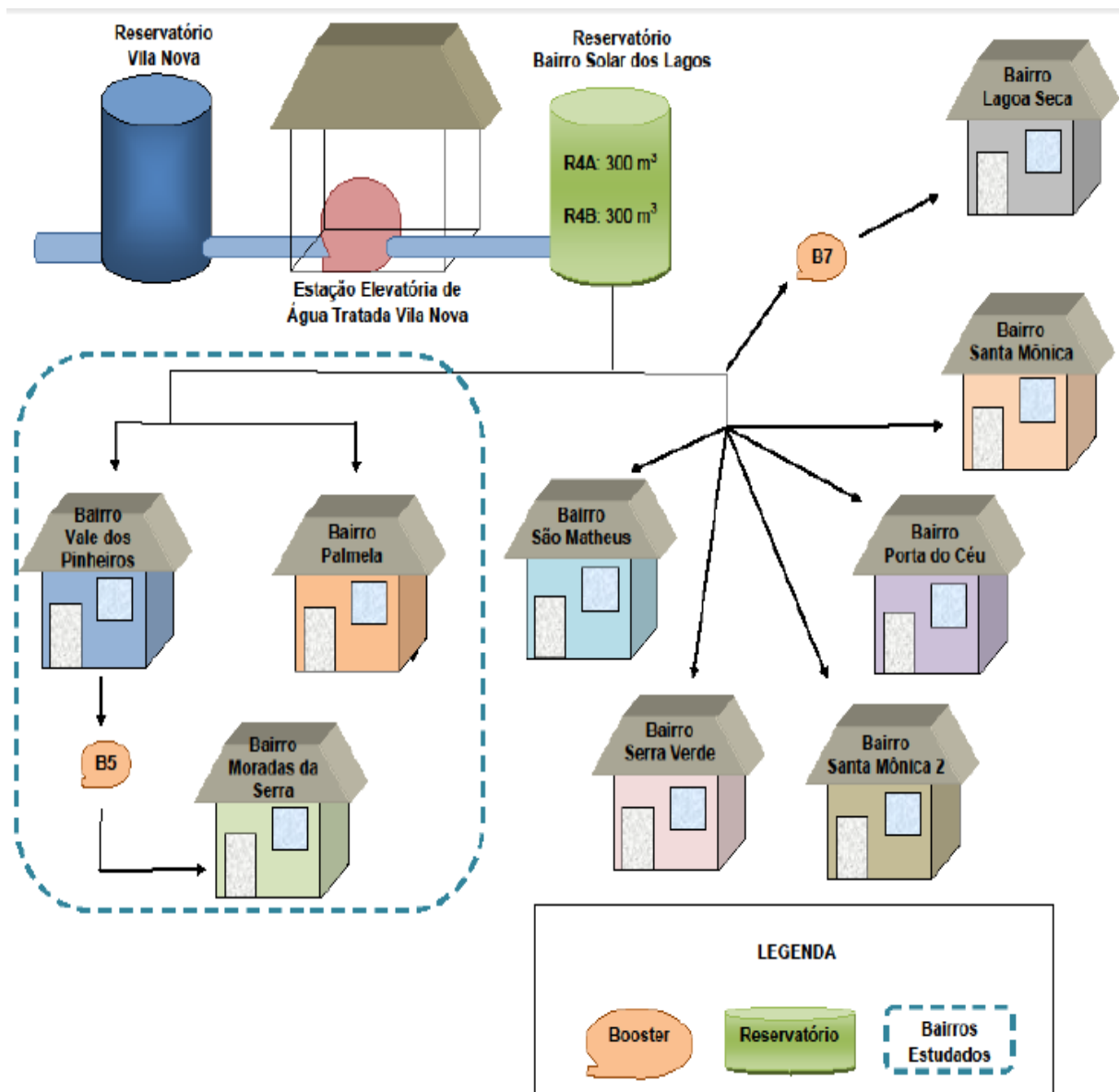


Figura 32 - Esquema do abastecimento de água do setor em estudo. Fonte Lamoglia (2013)

A figura 33 apresenta uma imagem retirada do Google Maps (2015), com alguns nós do setor identificados.

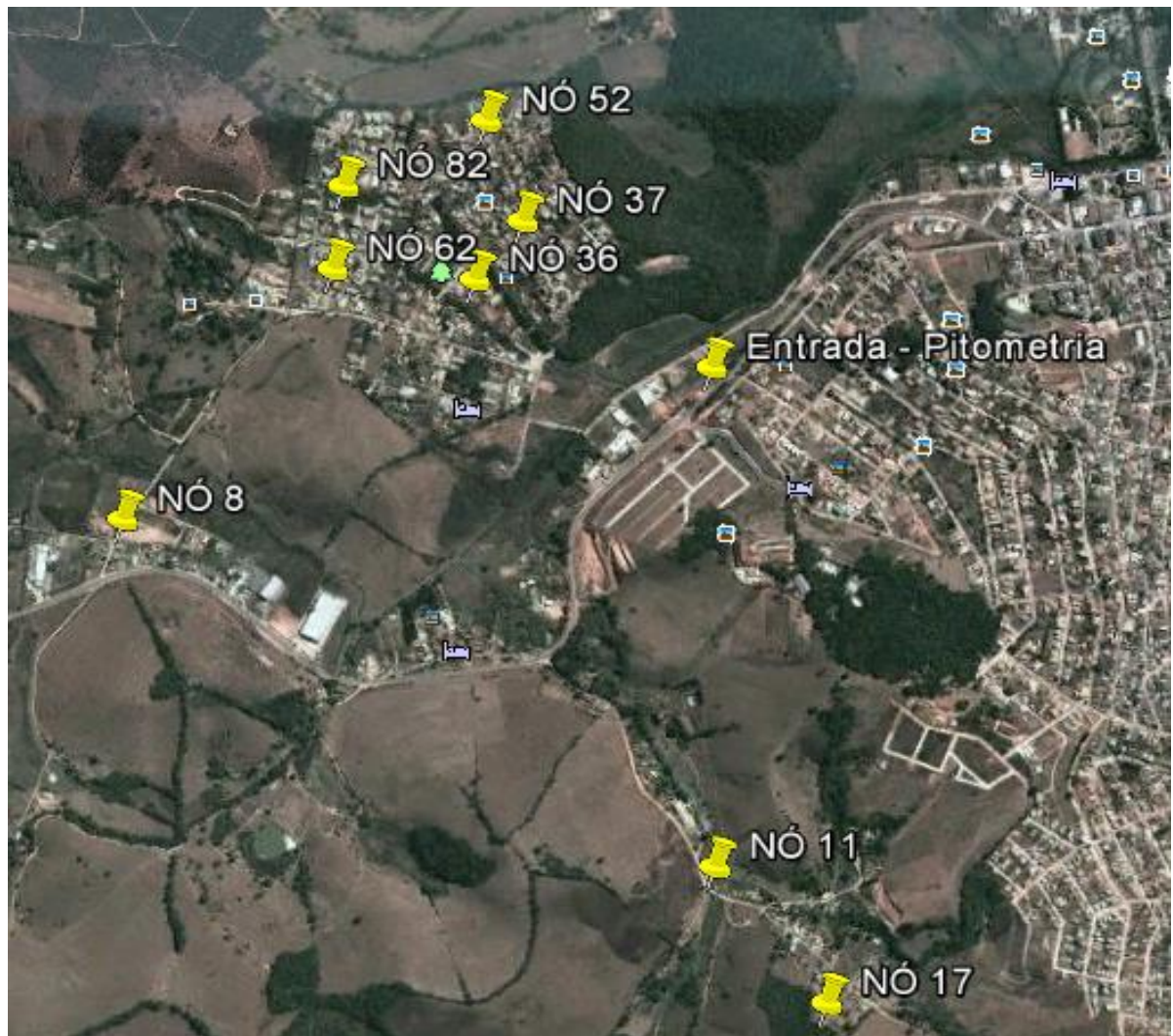


Figura 33 - Setor previamente escolhido, fonte Google Maps (2015).

A figura 34 ilustra o setor estudado e foi formulada em AutoCad por Lamoglia (2013). Com isso se obteve um setor isolado para ser estudado.



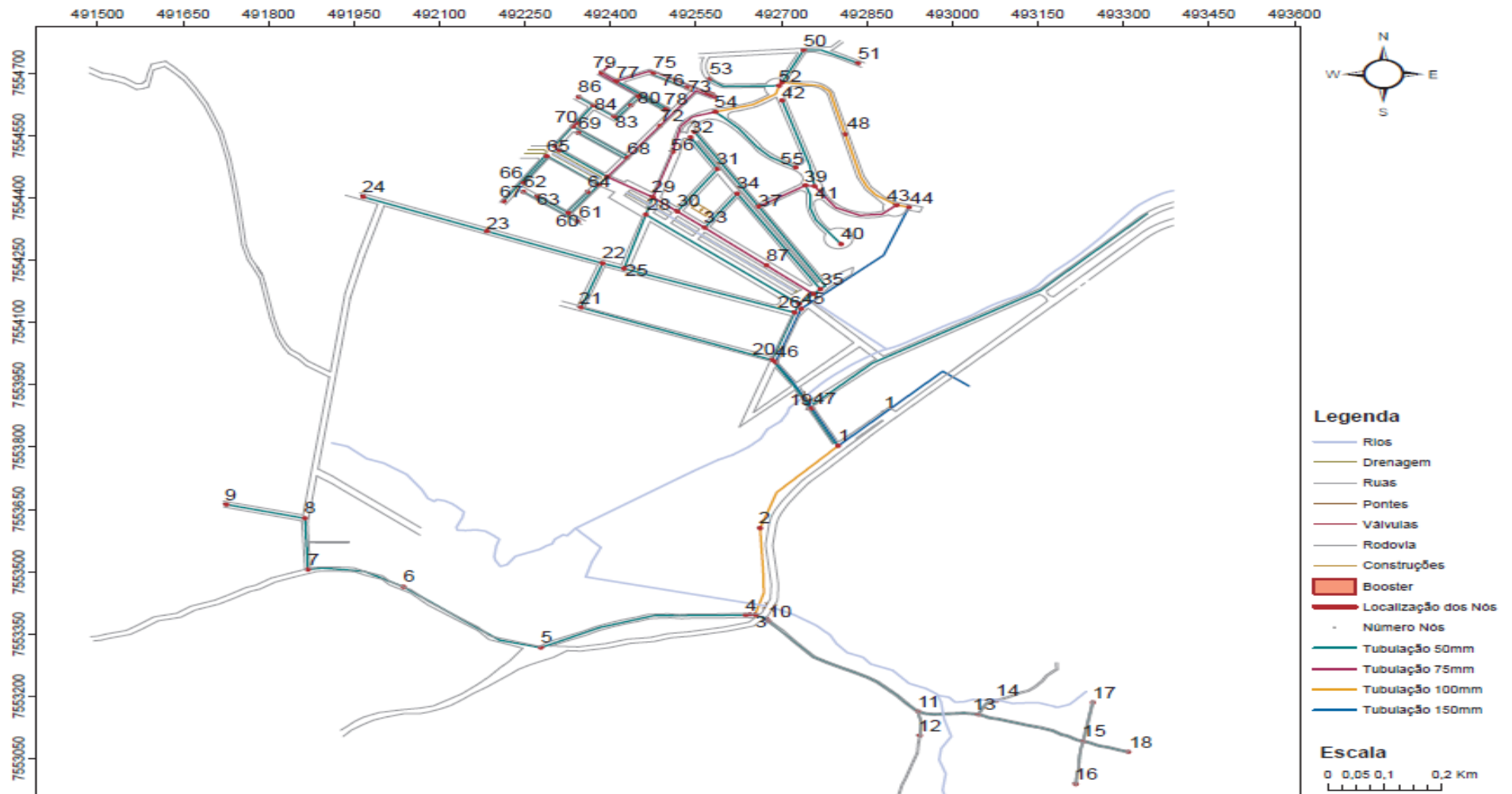


Figura 34 - Desenho Autocad do setor escolhido. Fonte Lamoglia (2013).

A rede de distribuição de água em estudo foi catalogada e se gerou 117 nós no setor, com 121 trechos e 6 registros existentes, como mostra a figura 35 desenvolvida por Santos (2016)

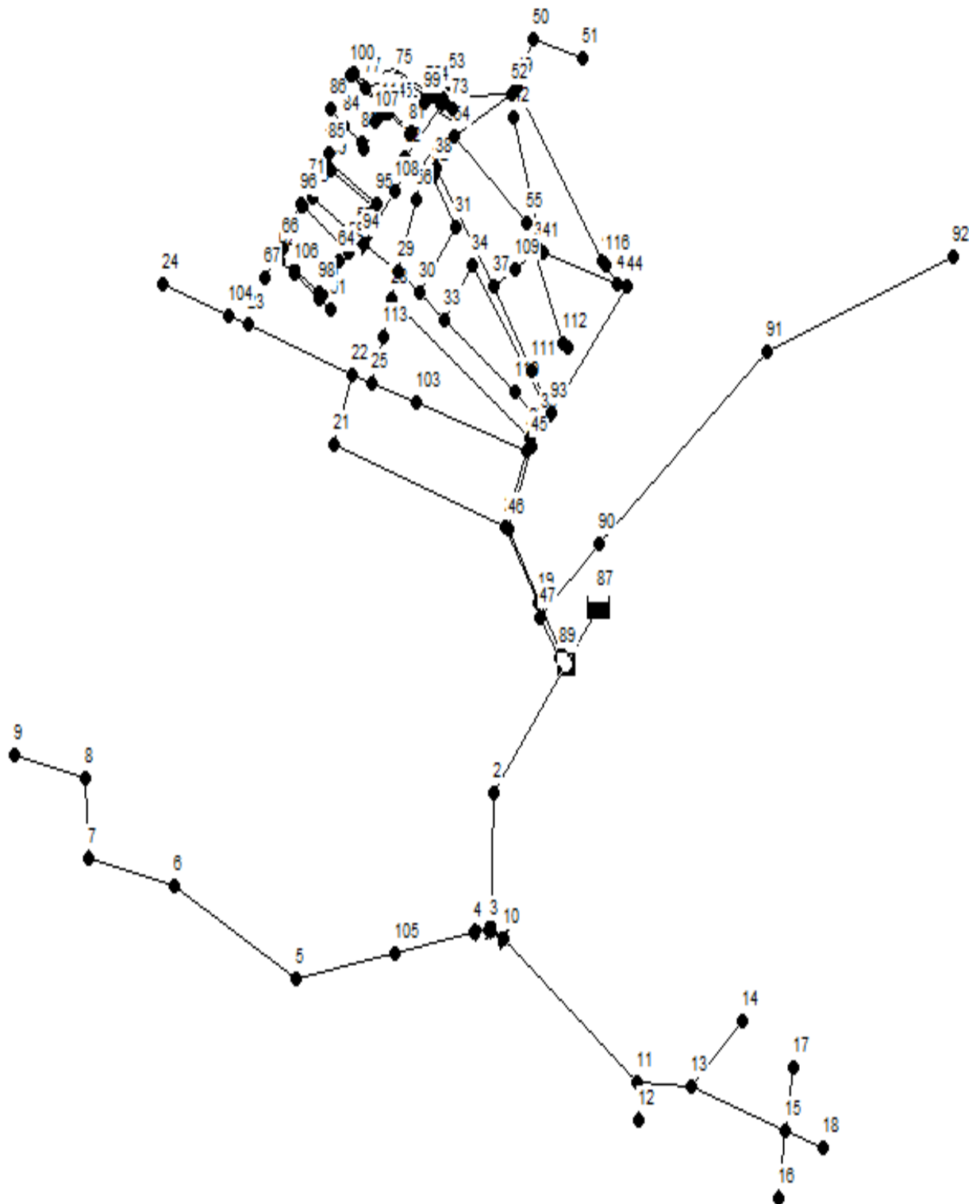


Figura 35 - Setor isolado com os nós escolhidos, Santos (2016).

O próximo passo foi a escolha dos pontos de medição de pressão como mostra a figura 36. Esses pontos foram escolhidos em locais estratégicos para uma melhor análise do setor.

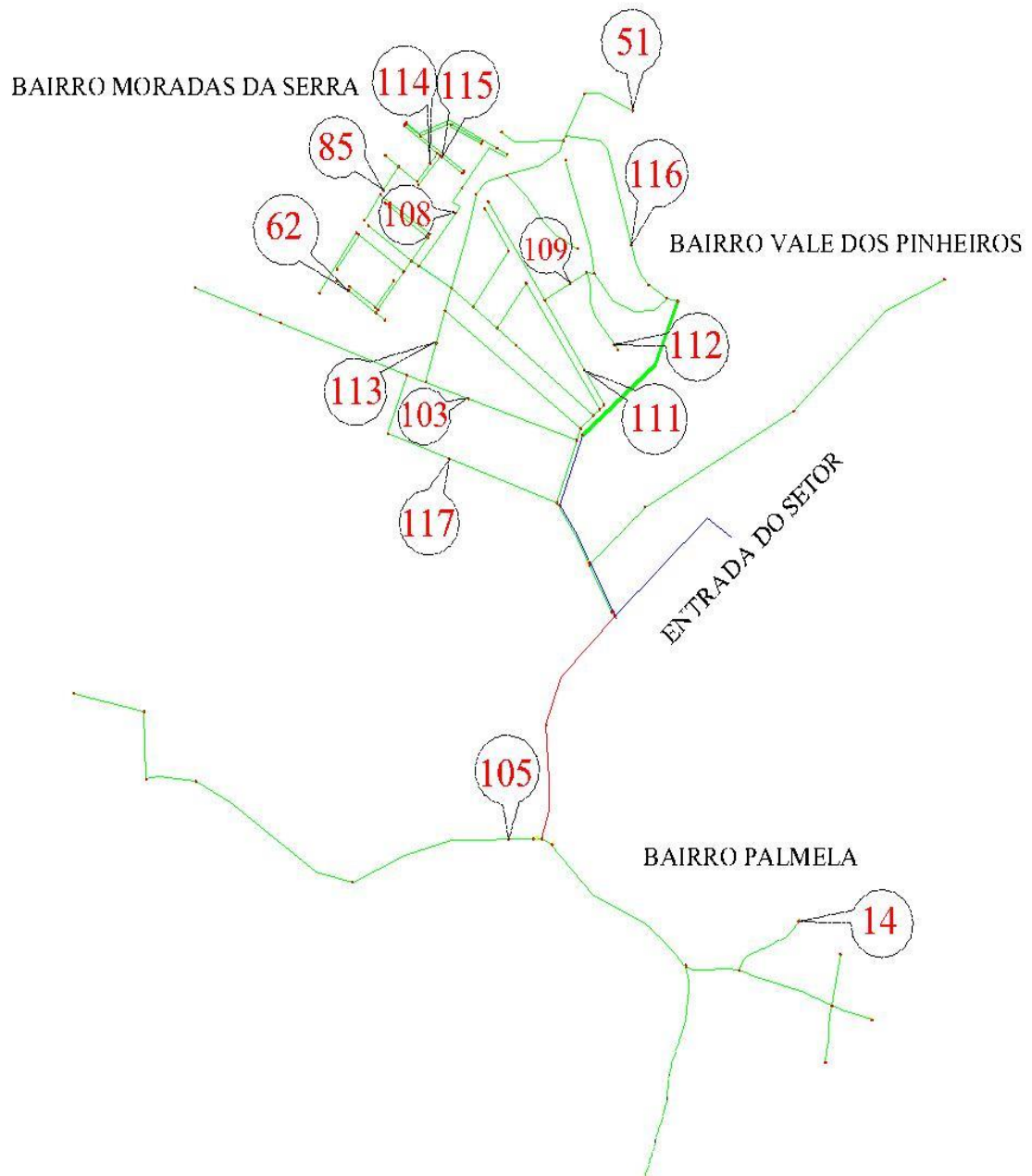


Figura 36 - Pontos de monitoramento de pressão, Santos (2016).

#### 4.3.2 - Campanha de campo - Cidade 2.

Os trabalhos de campo tiveram a mesma natureza dos realizados na cidade 1, pois o objetivo foi coletar dados análogos para gerar os mesmos indicadores e assim comparar as duas cidades.

Iniciaram-se os trabalhos de campo com o equipamento DGPS, para coleta dos pontos topográficos do setor em estudo.

Com a mudança de base do IBGE para a cidade 2, se iniciou a coleta dos pontos previamente escolhidos, com a permanência de 7 minutos em cada nó, para fixar os pontos e gerar um valor próximo do real. Seguem abaixo (tabela 12) as altitudes dos principais pontos estudados, coletados com o equipamento de precisão DGPS.

Tabela 12 - Altitude dos pontos estudados

<b>Localização</b>	<b>Altitude</b>
Captação Rio Verde	874m
ETA	883
ETA	928m
R4 Solar dos Lagos	965m
Entrada do setor	883m

A figura 37 mostra a visita a campo, onde se obteve a transferência da base para a cidade 2.



Figura 37 - Ponto catalogado e transferido para a cidade 1.

Próximo passo foi à campanha de campo realizada nos bairros, com a medição das pressões nos principais nós da rede do setor e a variação da vazão de entrada na rede de distribuição de água.

A figura 38 exemplifica o modo de instalação e proteção dos medidores de pressão nas residências e o local para instalação dos mesmos na entrada da rede de distribuição.



Figura 38 - Equipamentos em campo, instalados e protegidos.

É apresentado na figura 39 o poço de coleta que fica na entrada do setor estudado. Nele se destaca a tubulação onde foi instalado os equipamentos de vazão e pressão.



Figura 39 – Posto de visita para instalação dos equipamentos de vazão e pressão.

Tais pontos que serão correlacionados com a rede foram escolhidos segundo critérios de representatividade, segurança do equipamento, disponibilidade de moradores, níveis de cota e pressão. No setor isolado escolhido para o estudo são formados pelos bairros Palmelo, Moradas da Serra e Vale dos Pinheiros, que representam categorias sociais diferentes onde se buscou estas amostragens diferenciadas.

Em uma das reuniões foram agendados os trabalhos a serem executados, bem como a disponibilidade de técnicos do SAAE para auxílio e acompanhamento. Após a reunião realizou-se a visita ao sistema de bombeamento de Vila Nova.

A figura 40 ilustra a estação de bombeamento Vila Nova onde foram feitos ensaios com as bombas e medições de parâmetros hidráulicos, mecânicos e elétricos. Pode-se notar na foto que apenas uma das bombas estava operando, a outra foi para manutenção.





Figura 40 - Sistema de bombeamento Vila Nova.

Em outra visita a campo, foram negociados diretamente com a população as instalações dos equipamentos nas residências e a verificação dos pontos de visita para a questão da acessibilidade como, chaves, instalações elétricas, entre outros, para que não ocorressem problemas durante as campanhas.

Com o apoio da companhia de saneamento local foi realizado a principal campanha de campo, onde se obteve o monitoramento de parâmetros com a ajuda da empresa contratada.

Com o início das medições, ocorreu um rigoroso processo de acompanhamento, pois o valor dos equipamentos é alto e os cuidados com relação à segurança e fenômenos naturais foram levados em conta.

Neste período também se acompanhou junto aos setores possíveis vazamentos, para obter uma coleta mais precisa dos dados. Ocorreram alguns problemas relacionados aos medidores de pressão onde precisaram ser trocados, pois não estavam funcionando corretamente. Aproveitando o período em campo, foram levantados os dados dos hidrômetros com relação à rua.

Para finalizar os trabalhos de campo a equipe fez a retirada dos equipamentos de pressão das residências (figura 41) e o de vazão instalado na entrada do setor (figura 42).



Figura 41 - Medidores de pressão retirados das residências.



Figura 42 - Medidor de vazão ultrassônico no poço de visita.



#### 4.4 - Escolha dos indicadores utilizados no estudo

Na análise da literatura atual, se estudou os principais autores e suas fontes para se encontrar os indicadores que melhor se encaixam no estudo. Entre eles se destacou a autora Alegre et. al. (2004) que mostra vários indicadores existentes e a forma de calculá-los.

Segue os indicadores e suas formulações.

- a) Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%).

$$Ph4 = D2 / (C7 \times 24) \times 100.$$

D2 – Consumo máximo diário de energia para o bombeamento (kWh), ou seja, o número de horas de funcionamento do motor no dia de maior consumo energético durante o período de referência X potência nominal.

C7 – Capacidade máxima de bombeamento das estações elevatórias (kW).

- b) Ph5 - Consumo de energia normalizada (kWh/m<sup>3</sup>/100m).

$$Ph5 = D1 / D3.$$

D1 - Consumo de energia no bombeamento.

D3 – Fator de uniformização (m<sup>3</sup>x100m) ou seja, o volume bombeado no período x altura manométrica/100.

A eficiência energética é considerada boa para o consumo de energia normalizado entre 0,27 a 0,40, mediano para 0,40 a 0,54 e insatisfatória para consumos maiores que 0,54, fonte Sabesp (2014)

- c) Ph6 - Consumo de energia reativa.

$$Ph6 = D4 / D1 \times 100.$$

D4 – Consumo de energia reativa.

D1 – Consumo de energia para bombeamento na estação elevatória.

Onde kWh e kVar são equivalente e sua razão adimensional.

**d)** Ph8 – Densidade de válvulas (nº/km).

$$\text{Ph8} = \text{C22} / \text{C9}.$$

C22 - Válvulas de seccionamento.

C9 – Comprimento da rede de distribuição (km).

**e)** Ph 14 – Grau de automação (%).

$$\text{Ph14} = \text{C16} / \text{C15} \times 100.$$

C15 – Unidade de controle.

C16 - Unidade com controle automático.

**f)** Ph15 – Grau de controle remoto (%).

$$\text{Ph15} = \text{C17} / \text{C15} \times 100.$$

C15 – Unidade de controle.

C17 - Unidade com controle remotamente.

**g)** WR1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%).

$$\text{WR1} = \text{A19} / \text{A3} \times 100.$$

A19 – Perdas reais (m³).

A3 – Água na entrada do sistema (m³).

**h)** Op23 – Perdas de água por ramal (m³/ramal/ano).

$$\text{Op23} = (\text{A15} \times 365 / \text{H1}) / \text{C24}.$$

A15 – Perdas de água (m³).

C24 – Número de ramais (nº) .

H1 – Período de referência (dia).

**i)** Op 24 – Perdas de água por comprimento de conduta (m<sup>3</sup>/km/dia).

$$\text{Op24} = (\text{A15}/\text{H1})/\text{C8}.$$

A15 – Perdas de água (m<sup>3</sup>).

C8 – Comprimento dos condutos (Km).

H1 – Período de referência (dia).

**j)** Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%).

$$\text{Op26} = \text{A18} / \text{A3} \times 100.$$

A3 – Água na entrada do sistema (m<sup>3</sup>).

A18 – Perdas aparentes (m<sup>3</sup>).

**k)** Op 27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia).

$$\text{Op27} = \text{A19} \times 1000 / (\text{C24} \times \text{H2} / 24).$$

A19 – Perdas reais (m<sup>3</sup>).

C24 – número de ramais (n<sup>o</sup>).

H2 – Tempo de pressurização do sistema.

**l)** Op 28 – Perdas por comprimento de conduto (l/km de conduto/dia).

$$\text{Op28} = \text{A19} \times 1000 / \text{C8} \times \text{H2} / 24.$$

A19 – Perdas reais (m<sup>3</sup>).

C8 – Comprimento do conduto.

H2 – Tempo de pressurização do sistema.

**m)** Op29 – Indicador de infraestrutura de fugas.

$$\text{Op29} = \text{Op27} / (18 \times \text{C8} / \text{C24} + 0,7 + 0,025 \times \text{C25}) / (\text{D34} / 10).$$

Op27 – Perdas reais por ramal.

C8 – Comprimento das condutas.

C24 – Número de ramais.

C25 – Comprimento médio dos ramais.

D34 – Pressão média de operação.

**n)** Fi46 – Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume (%)

$$Fi46 = A21 / A3 \times 100.$$

A3 - Água na entrada do sistema.

A21 - Água não faturada.

**o)** Op39 - Indicador de água não medida (%).

$$Op39 = (A3 - A8 - A11) / A3 \times 100.$$

A3 - Água na entrada do sistema. 95795,61m<sup>3</sup>/ano.

A8 – Consumo faturado medido. 68570,43 m<sup>3</sup>/ano.

A11 – Consumo não faturado medido.

**p)** Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia).

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = (18 \times Lm / Nc + 0,7 + 0,025 \times Lp) \times P/10$$

Lm - Comprimento da rede.

Nc - Número de ramais.

Lp - Comprimento médio dos ramais, medido entre a borda da estrada e o ponto de medição de caudal.

P - Pressão média de operação (KPa).

Esse estudo de caso real foi desenvolvido em duas cidades onde seus nomes não foram divulgados, pois segundo Alegre et. al. (2004), se recomenda medições no período de um ano para que os valores obtidos não induzam erros de interpretação, além disso, recomenda-se a análise em conjunto de vários anos, como o trabalho coleta dados de apenas uma semana, comparações internas e externas devem ser evitadas.

## 5 - Resultados

Inicialmente serão apresentados os resultados experimentais obtidos que serviram de base para os cálculos dos indicadores.

### 5.1 - Resultados Experimentais

A seguir encontram-se discriminados alguns importantes valores medidos e os cálculos de alguns indicadores, para se obter um diagnóstico dos dois sistemas em estudo, cidade 1 e cidade 2.

#### 5.1.1 - Resultados Experimentais - Cidade 1

Com foco na cidade 1, a figura 43 mostra claramente como a pressão é baixa nesse ponto (menos de 4 mca), por se localizar próximo ao reservatório. Isso gera problemas no abastecimento e falta de água em períodos de racionamento. Já a figura 44 mostra o oposto, pressões elevadas (50 mca durante o dia, chegando ao pico de 80 mca durante a noite) que também geram problemas no abastecimento, como ruptura das tubulações e altos índices de perdas. Essa grande variação era prevista por se tratar de uma região montanhosa.

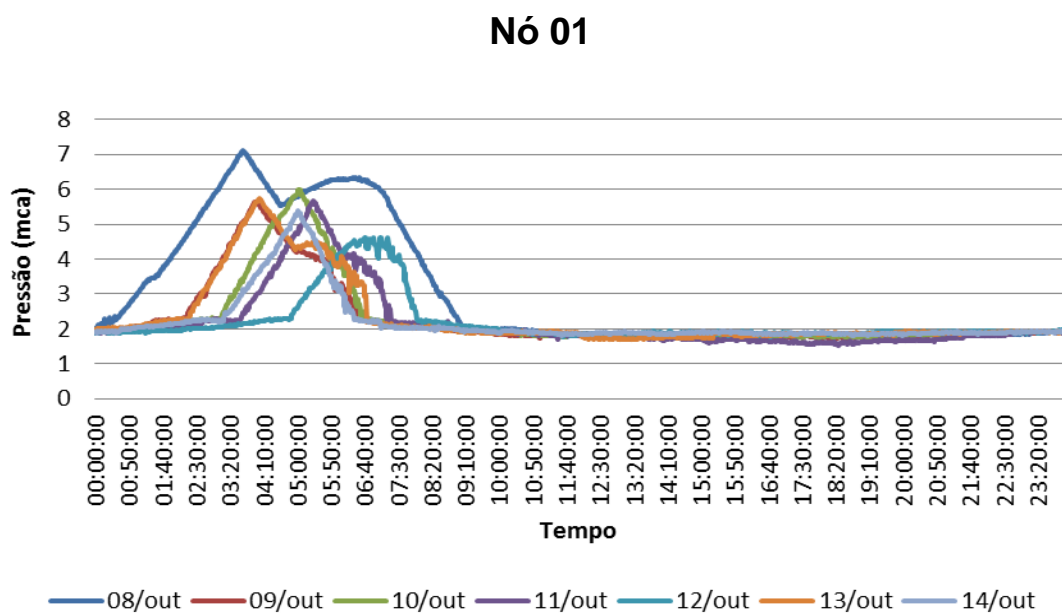


Figura 43 - Pressão baixa, região próximo ao reservatório.

A figura 44 apresentou o vazamento mencionado anteriormente, que é facilmente visualizado (entre 13h e 17h). Esse vazamento provavelmente ocorreu devido ao alto valor da pressão de pico existente, aproximadamente 80 mca.

### Nó 144

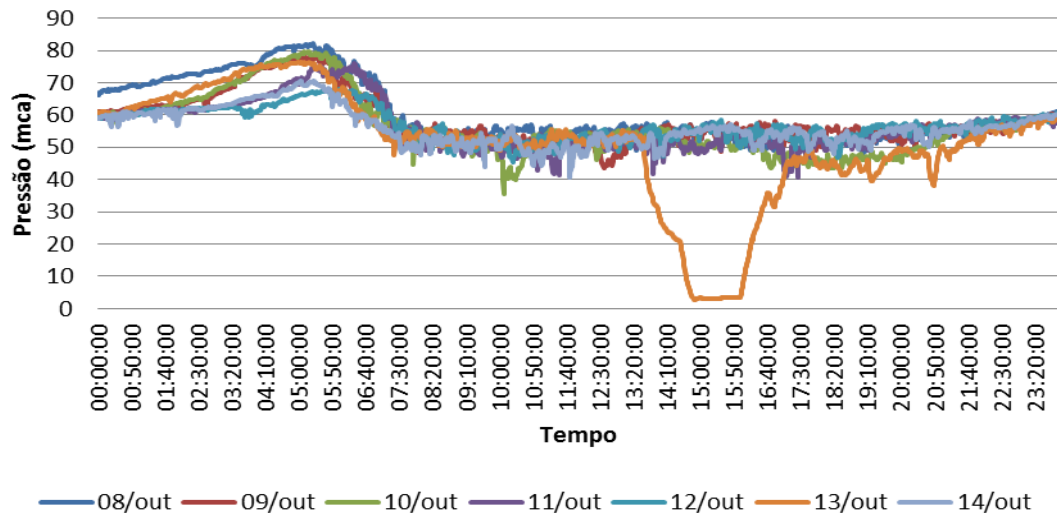


Figura 44 - Pressão alta, região de baixa altitude, pico acima da média, cerca de 80 mca.

Já a figura 45 fica dentro de uma faixa aceitável de pressão, 10 a 20 mca durante o dia e picos de 50 mca durante a madrugada.

### Nó 96

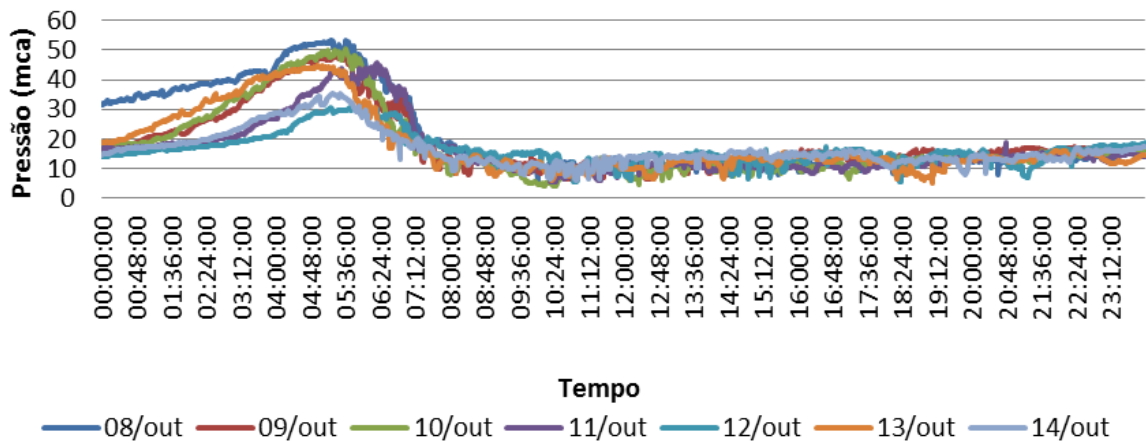


Figura 45 – Valores de pressão aceitáveis.

Já a figura 46, mostra uma grande variação da pressão durante os 7 dias, chegando a zerar, ou seja não ter água na rua naquele instante, principalmente no dia 10.

### Nó 146

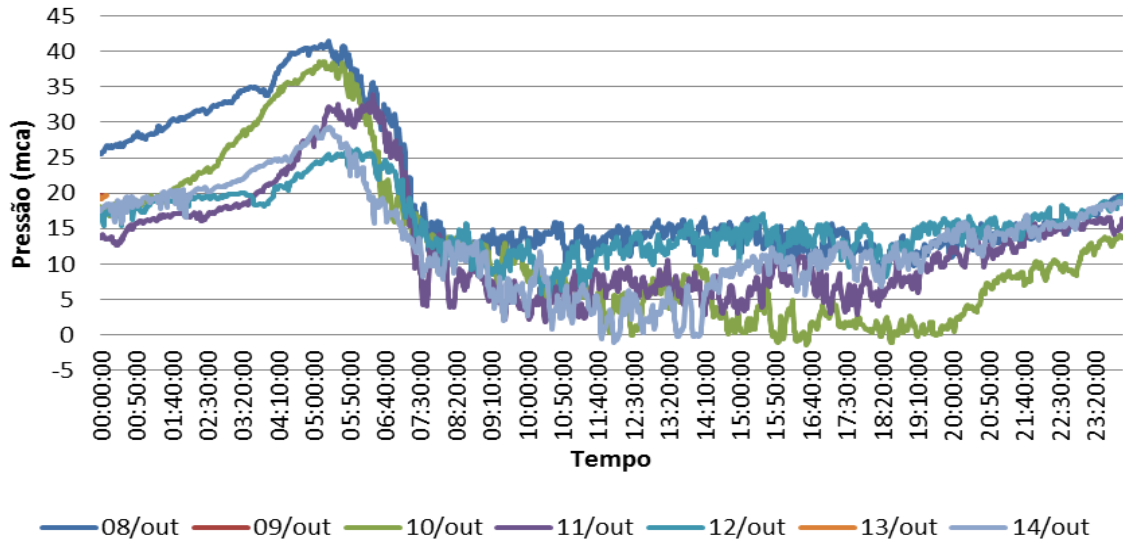


Figura 46 - Alta pressão na madrugada e muito baixa durante o dia 10.

A figura 47 mostra a alta pressão existente no nó 153, ocorrendo picos de 80 mca durante a madrugada.

### Nó 153

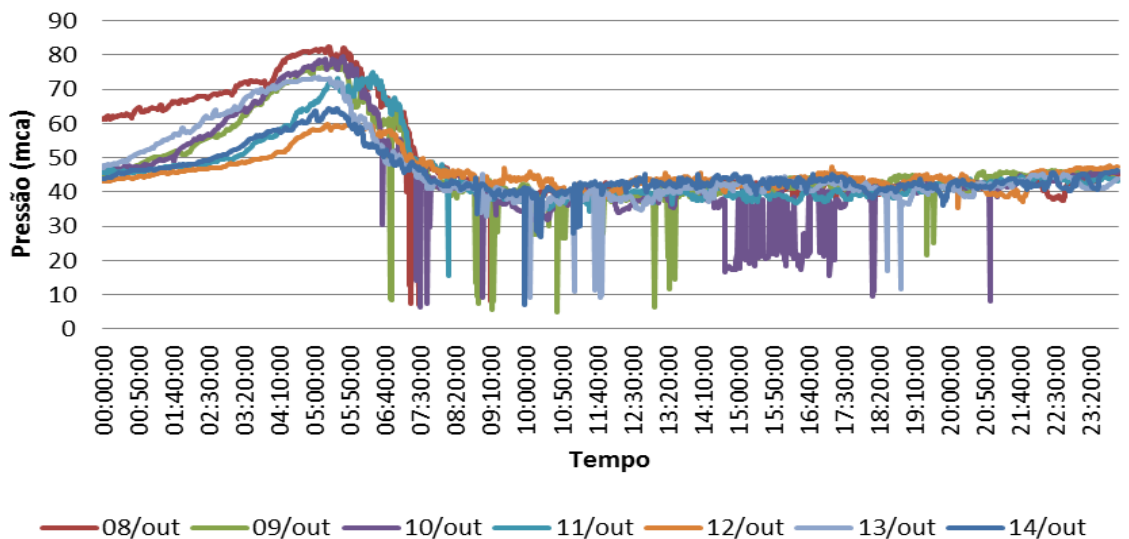


Figura 47 - Pressão média elevada, picos de 80 mca na madrugada.



Com esses gráficos podemos também verificar o perfil da pressão que é alta durante a madrugada e começa a cair a partir das seis horas da manhã, horário de maior consumo.

Outros gráficos importantes gerados e estudados são os das vazões, que influenciam diretamente no setor estudado. São 3 importantes gráficos desenvolvidos (figuras 48, 49 e 50).

Na figura 48 se observa as vazões de entrada do setor isolado, que possui uma vazão média calculada de 3,14 l/s. Esse foi um importante valor medido, pois mostrou qual a vazão de entrada do setor.

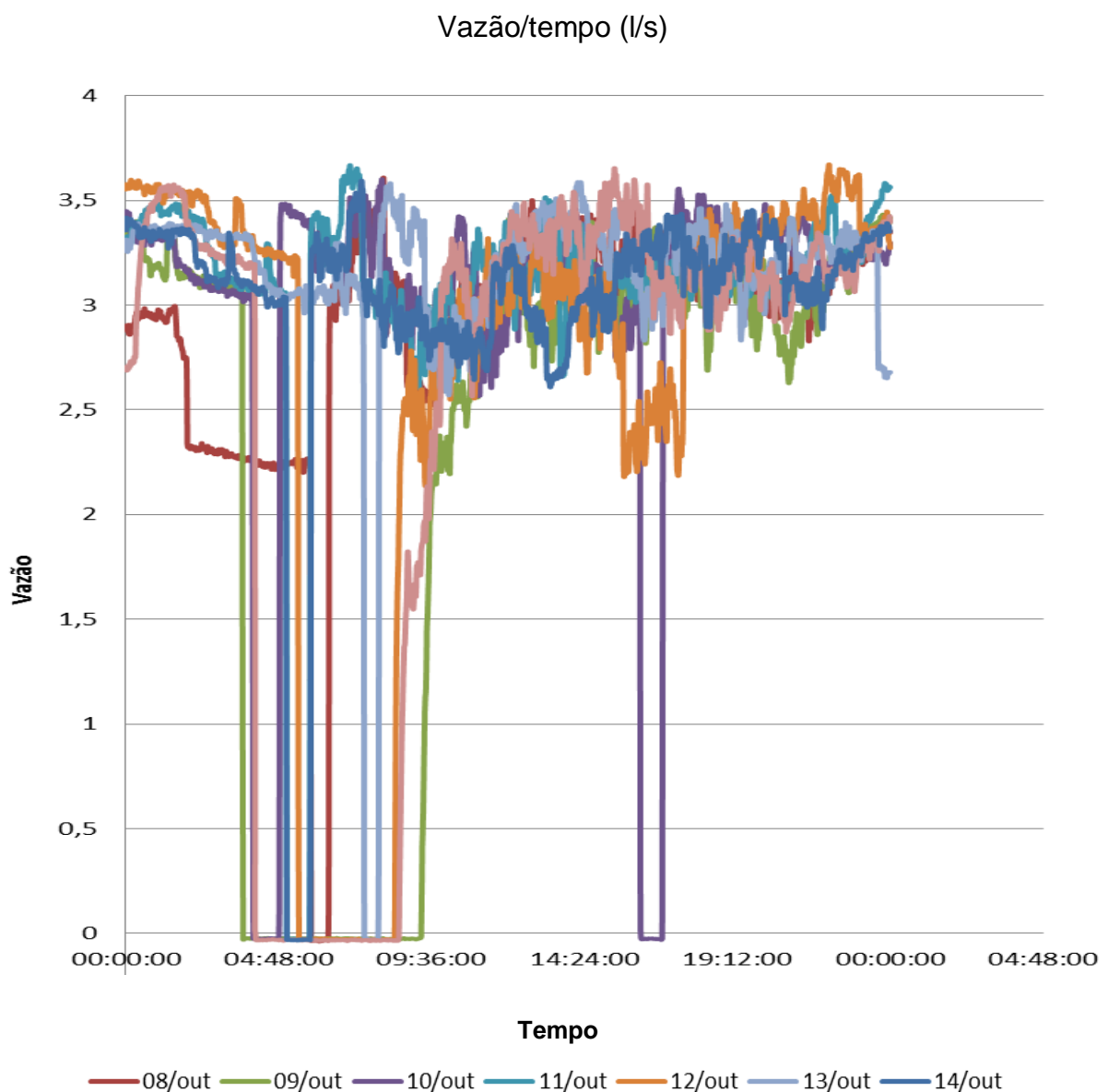


Figura 48 - Vazão/tempo (l/s) do medidor ultrassônico (tubulação que abastece o setor em estudo, sai do reservatório R4 e abastece o setor em estudo).

A sobra da água vinda da bomba 2, que passa por 3 bairros foi medida e é apresentada na figura 49. Possui uma vazão média de 0,8 l/s.

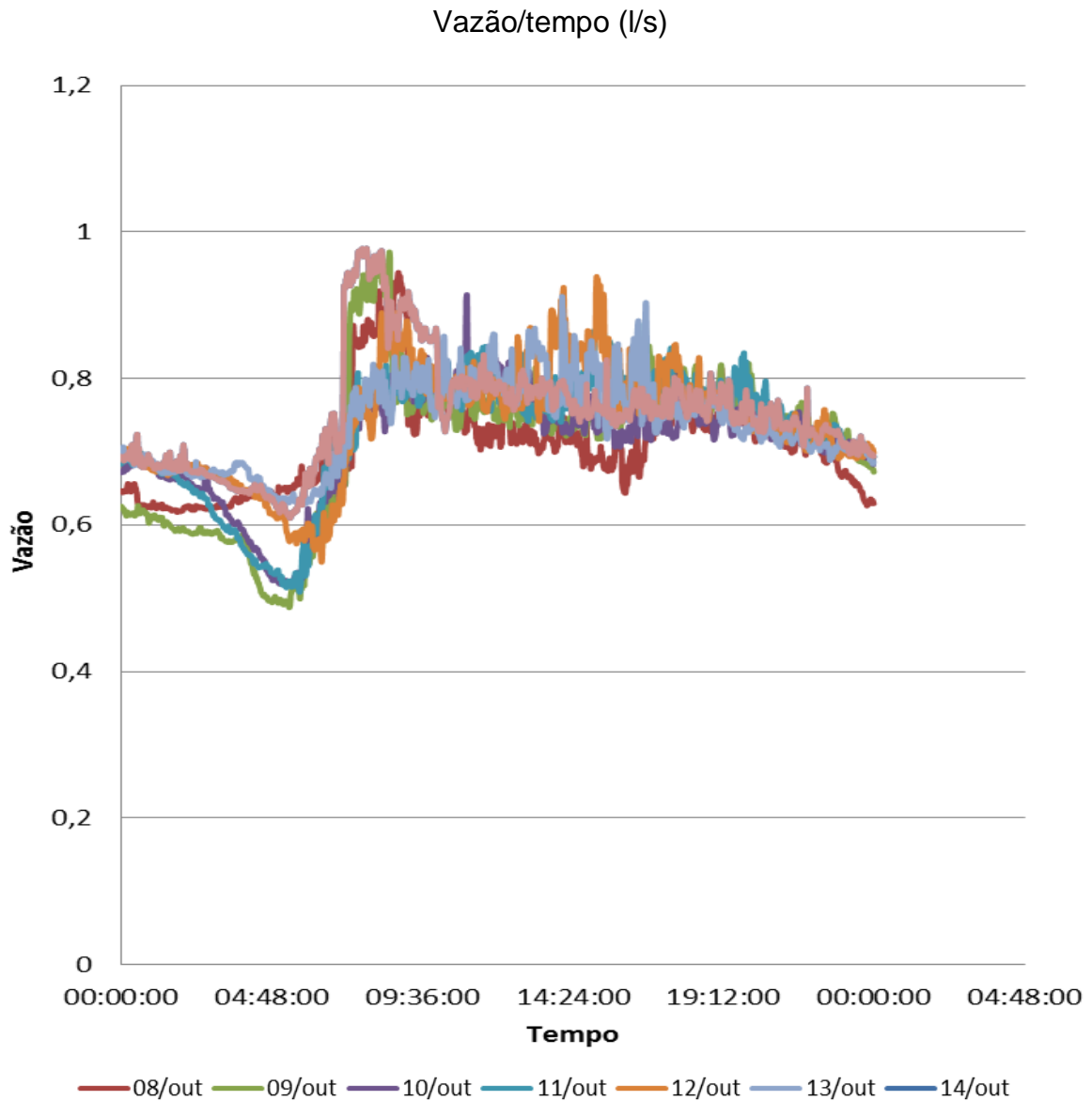


Figura 49 - Vazão/tempo (l/s) do medidor ultrassônico (tubulação da sobra de água que chega ao reservatório R4).

Foram feitas medições de vazão nas saídas das bombas 1 e 2, com isso se gerou o gráfico da figura 50.

A linha azul representada nesse gráfico mostrou a vazão na tubulação de 6" onde a rede de distribuição de água vai direto para o reservatório R4. Sua vazão ficou na média de 22 l/s.

A linha vermelha mostra a vazão na tubulação de 4", onde sua rede de distribuição passa por 3 bairros e sua sobra vai para R4.

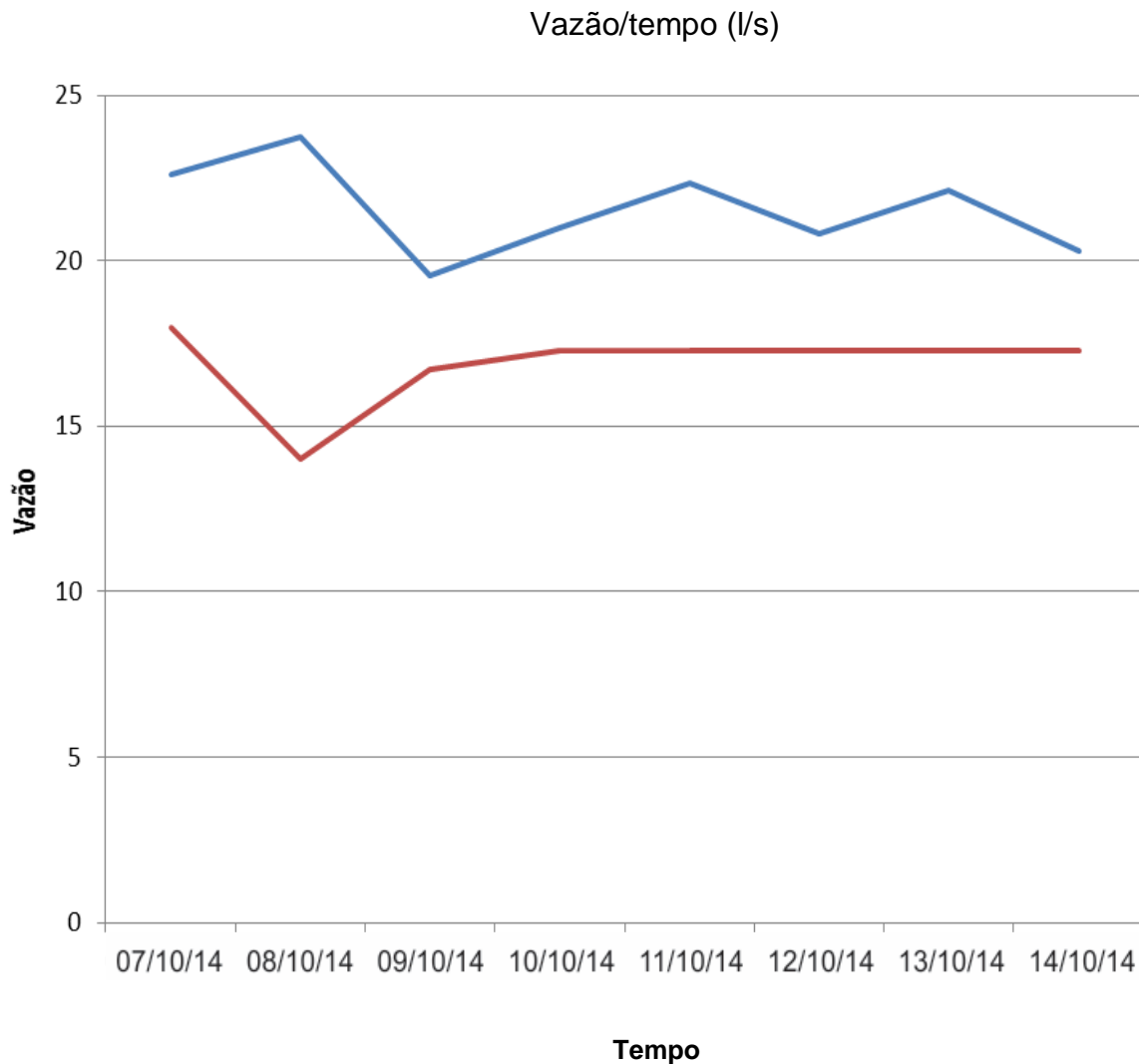


Figura 50 - Vazão/tempo (l/s) dos medidores ultrassônicos instalados em R3.

Com os dados levantados de pressão da rede, vazão de entrada do sistema e os trabalhos de topografias em mãos, se iniciou os cálculos de alguns indicadores hidroenergéticos para o setor da cidade 1, foco do trabalho.

### 5.1.2 - Resultados Experimentais - Cidade 2

Com foco na cidade 2, se observou o comportamento da rede com os gráficos a seguir. O primeiro (figura 51) mostra como o setor possui uma pressão elevada durante todo o dia, em torno de 80 mca.

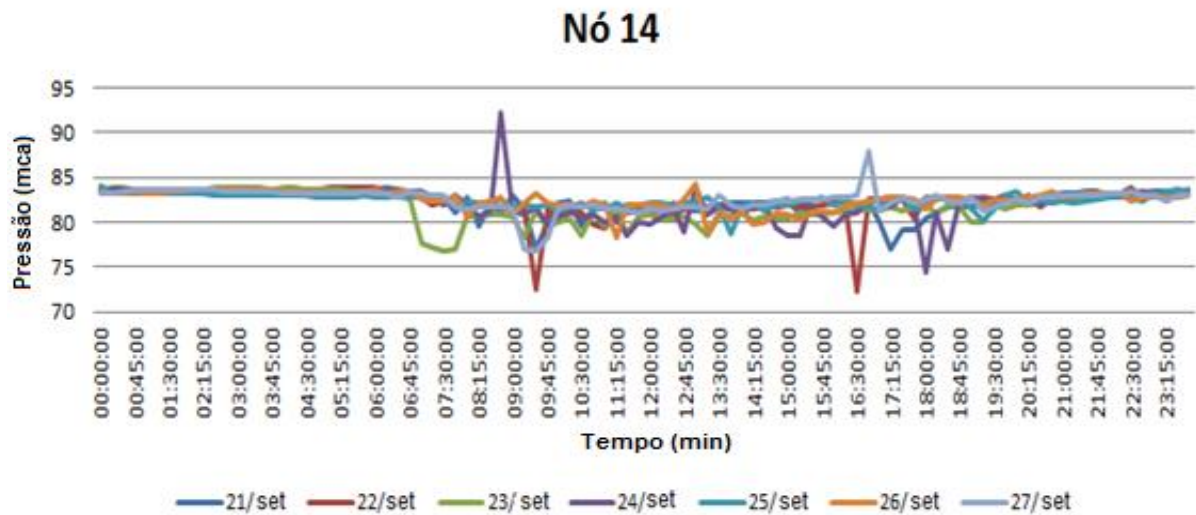


Figura 51 - Pressão elevada, acima de 80 mca.

Para o ponto de maior altitude (figura 52), a pressão foi menor e dentro de uma faixa indicada de 20 a 40 mca, porém na maioria do setor isso não se aplica, ou seja, alta pressão no sistema podem gerar altos índices de perdas na rede.

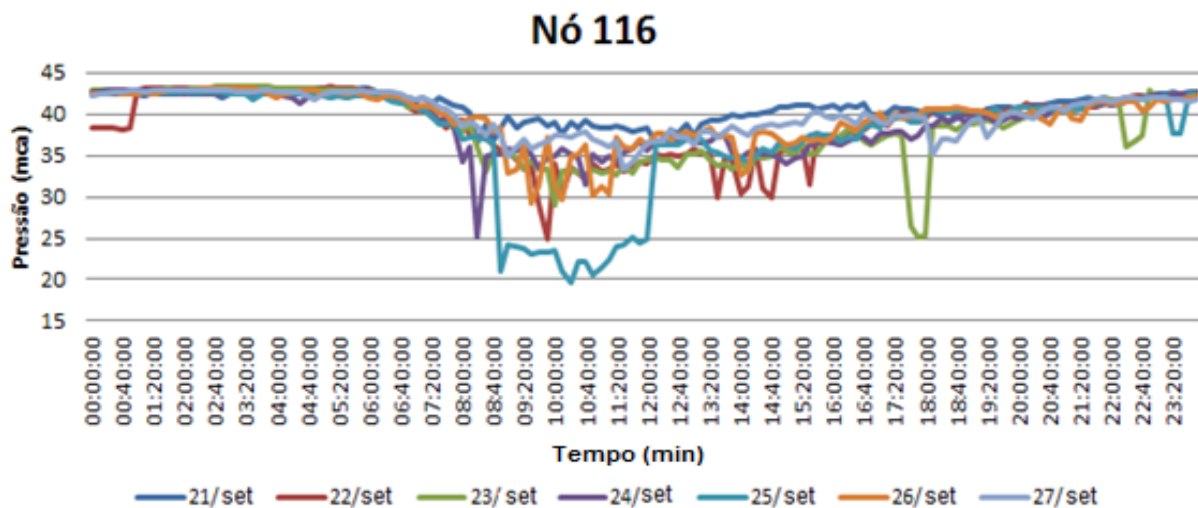


Figura 52 - Pressão na parte mais alta da rede.

Já o gráfico da figura 53 mostrou a vazão de entrada do setor durante os 7 dias. Sua vazão média calculada foi de 11,10 l/s.

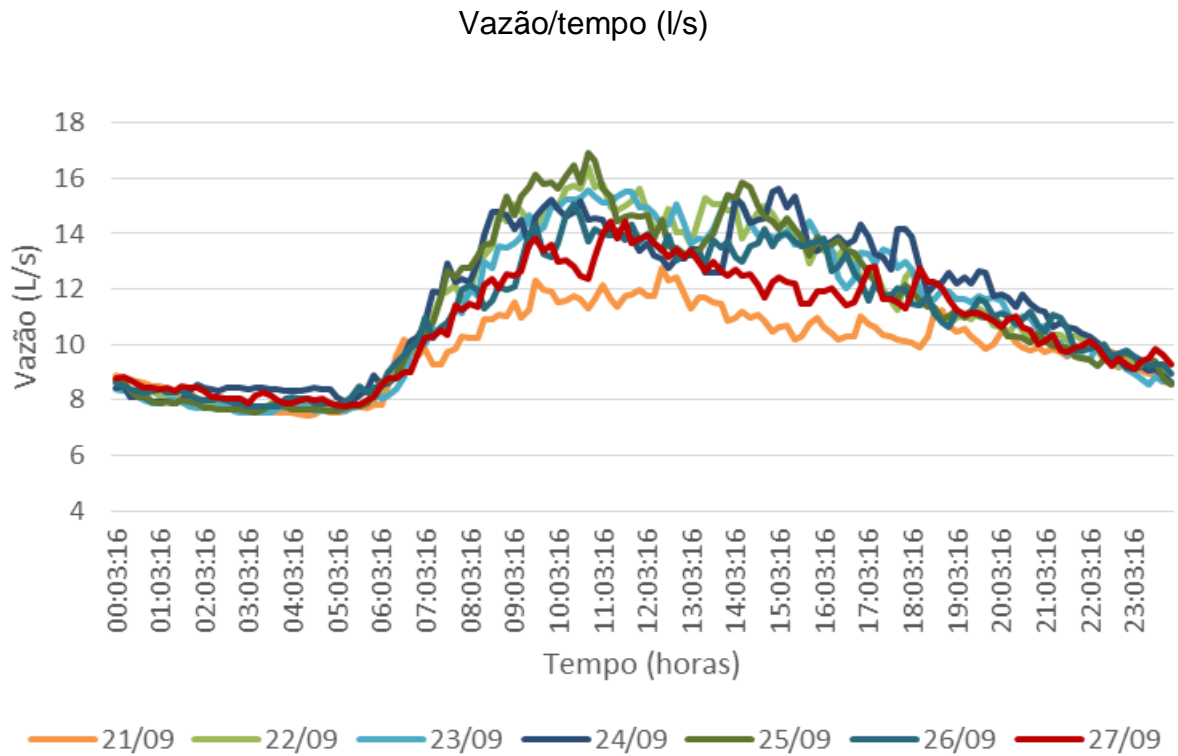


Figura 53 - Vazão na entrada do setor para os 7 dias de monitoramento (cidade 2).

Com os dados em mãos, desenvolveram-se os cálculos dos indicadores. Com esses valores procurou-se analisar a situação da rede de distribuição de forma geral, propor melhorias e comparar os setores das duas cidades.

## 5.2 - Cálculo dos indicadores

### 5.2.1 - Cálculo dos indicadores - Cidade 1

Inicialmente se calculou o número de ramais existentes no setor de estudo (tabela 13). Com ajuda da companhia de saneamento se obteve as contas detalhadas de todas as residências e assim feito a contagem do número de registros existentes, ou seja, o número de ramais.

Os cálculos do número de ramais, foram gerados a partir das contas do mês de julho de 2014.

Tabela 13 - Número de ramais do setor estudado.

Local	Número de ramais
Água Branca	64
Bela Vista.	28
Vale das Montanhas.	27
Vale das Rosas.	10
Vale do Sol.	82
Vila Mariana.	247
Rua Miguel Lousada	6
Rod. Cristóvão Sheradia.	23
<b>Numero total de ramais para o setor escolhido</b>	<b>487 ramais.</b>

Outro item importante foi o consumo médio das bombas do reservatório R3 (tabela 14), calculado a partir da média dos itens medidos. Esses valores foram disponibilizados pelo SAAE.

Tabela 14 - Consumo em kWh das bombas do reservatório R3.

<b>Data</b>	<b>Consumo em kWh</b>
Janeiro	<b>18420</b>
Fevereiro	<b>18540</b>
Março	<b>18720</b>

Logo o consumo médio das bombas do reservatório R3 foi de 18560 kWh por mês.

A vazão média de entrada do sistema foi muito importante para o estudo e assim calculada com os valores medidos na saída do reservatório R4. A figura 54 mostra essa vazão durante as 24 horas do dia e com isso se observa como comporta a entrada de água no setor em estudo. Como era de se esperar durante a madrugada o consumo cai a partir das 22h00min e volta a subir a partir das 06h00min.

Nenhum problema de vazamento em grande escala foi detectado na rede de distribuição do setor estudados, logo se conclui que essa vazão mínima da madrugada se refere as perdas por vazamento existentes no sistema, as chamadas perdas reais (entre 4h30min e 5h30min, como se observa na figura 54) no valor de 2,37 l/s, 7,27 m<sup>3</sup>/h ou 63.671,18 m<sup>3</sup>/ano.

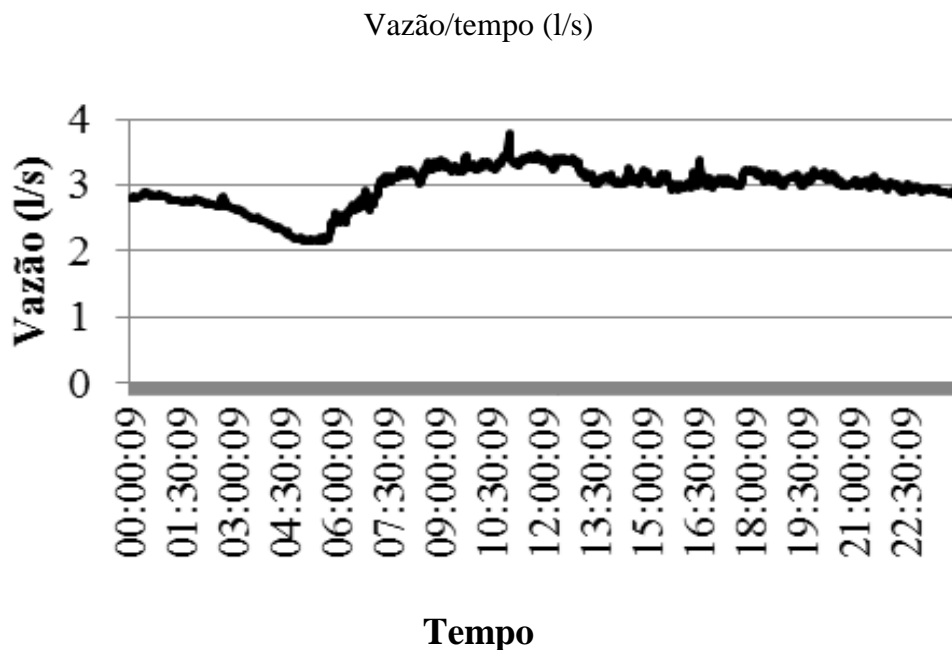


Figura 54 - Vazão na entrada do setor no dia 09/10/14 (cidade 1) .



Com os dados do gráfico da figura 55 em mãos, se calculou com maior precisão a vazão média na entrada do sistema, coletados durante os 7 dias de campanha de campo. Esses valores foram de 3,04 l/s, dando um total de 95795,61 m<sup>3</sup>/ano, 7982,97 m<sup>3</sup>/mês ou 10,94 m<sup>3</sup>/h.

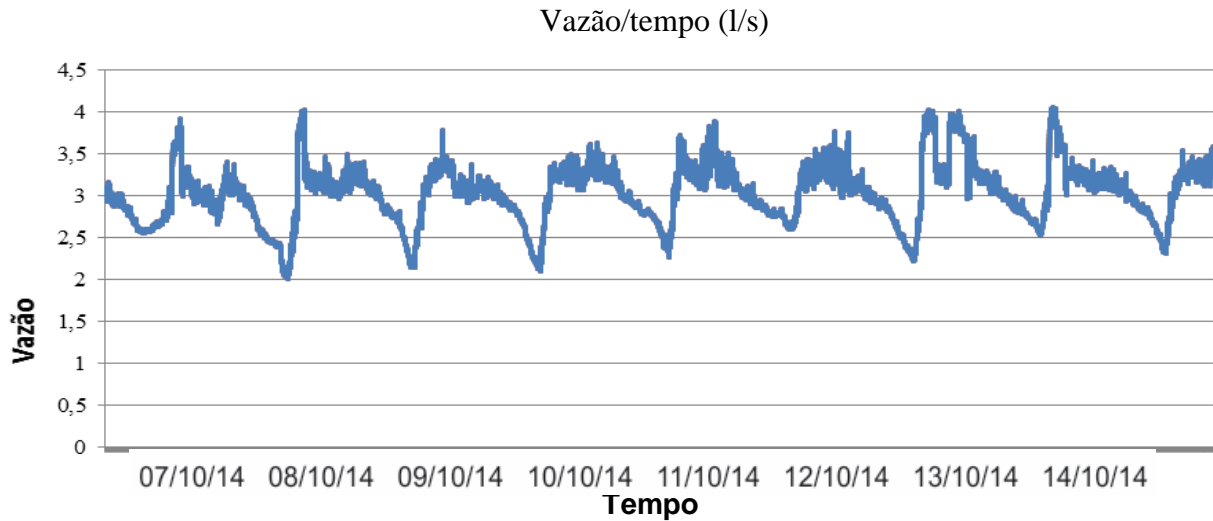


Figura 55 - Vazão na entrada do setor para os 7 dias de monitoramento (cidade 1).

A vazão média de todo o município é de aproximadamente 85,00 l/s (dados obtidos através do SAAE) e como o setor apresenta uma média de vazão de entrada de 3,04 l/s, se observa o consumo de 3,58% da água tratada que é disponibilizada pela ETA.

Outro importante item a se observar foi que a energia elétrica gasta pelas 2 bombas de R3 que abastece R4, ocorre uma contribuição diferente ao setor de estudo pois grande parte dessa energia foi utilizada para abastecer mais 3 bairros e apenas a sobra segue para R4. Por isso a autora Andrade (2016) calcula na tabela 15 esses valores reais, levando em conta o consumo de energia proporcional à vazão de entrada do setor, uma relação de 28,55%.

Tabela 15 - Consumo de energia em R3 e proporcional ao setor, Andrade (2016).

	Consumo mensal [kWh/mês]	Vazão [m <sup>3</sup> /mês]	Consumo [kWh/m <sup>3</sup> ]	Vazão do setor [m <sup>3</sup> /mês]	Contribuição do setor [%]	Consumo do setor [kWh/mês]	Consumo do setor [kWh/ano]
<b>R3</b>	18.120	27.959	<b>0,6481</b>	7.982,97	28,55	5.173,70	62.084,35

A tabela 16 mostra o balanço hídrico desenvolvida por Andrade (2016), integrante do grupo de pesquisa em que mostrou alguns valores importantes para os cálculos dos indicadores da cidade 1.

Tabela 16 - Balanço hídrico do setor em estudo, cidade 1, Andrade (2016).

<p>Água na entrada no sistema</p> <p><b>95.795,61 m<sup>3</sup>/ano</b></p> <p><b>(100%)</b></p>	<p>Consumo autorizado</p> <p><b>68.570,43 m<sup>3</sup>/ano</b></p> <p><b>(71,58%)</b></p>	<p>Consumo autorizado faturado</p> <p><b>68.570,43 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>Consumo faturado medido (incluindo água exportada)</p> <p><b>68.570,43 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>17 - Água faturada</p> <p><b>68.570,43 m<sup>3</sup>/ano</b></p>
			<p>Consumo faturado não medido</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
		<p>Consumo autorizado não faturado</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>Consumo não faturado medido</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>Água não faturada (perdas comerciais)</p> <p><b>27.225,18 m<sup>3</sup>/ano</b></p> <p><b>(28,42%)</b></p>
			<p>Consumo não faturado não medido</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
	<p>3 - Perdas de água</p> <p><b>27.225,18 m<sup>3</sup>/ano</b></p> <p><b>(28,42%)</b></p>	<p>Perdas aparentes</p> <p><b>625,87 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>Usos não autorizados</p> <p><b>81,36 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
			<p>Erros de medição</p> <p><b>544,50 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
		<p>Perdas reais</p> <p><b>26.599,31 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>Perdas nos sistemas de adução e/ou distribuição</p> <p><b>19.602,13 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
			<p>Perdas e extravasamento nos reservatórios</p> <p><b>1.715,19 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
			<p>Perdas nos ramais (montante do ponto de medição)</p> <p><b>5.282,00 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	

Com os dados medidos em campo, tratados e ajustados, alguns indicadores foram calculados segundo a bibliografia existente e apresentada por Alegre et al. (2004).

Com os indicadores previamente definidos, procedeu os cálculos.

a) Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%).

Na figura 56 se pode observar os valores do consumo diário em kWh referente as bombas do reservatório R3, durante a semana da campanha de campo.

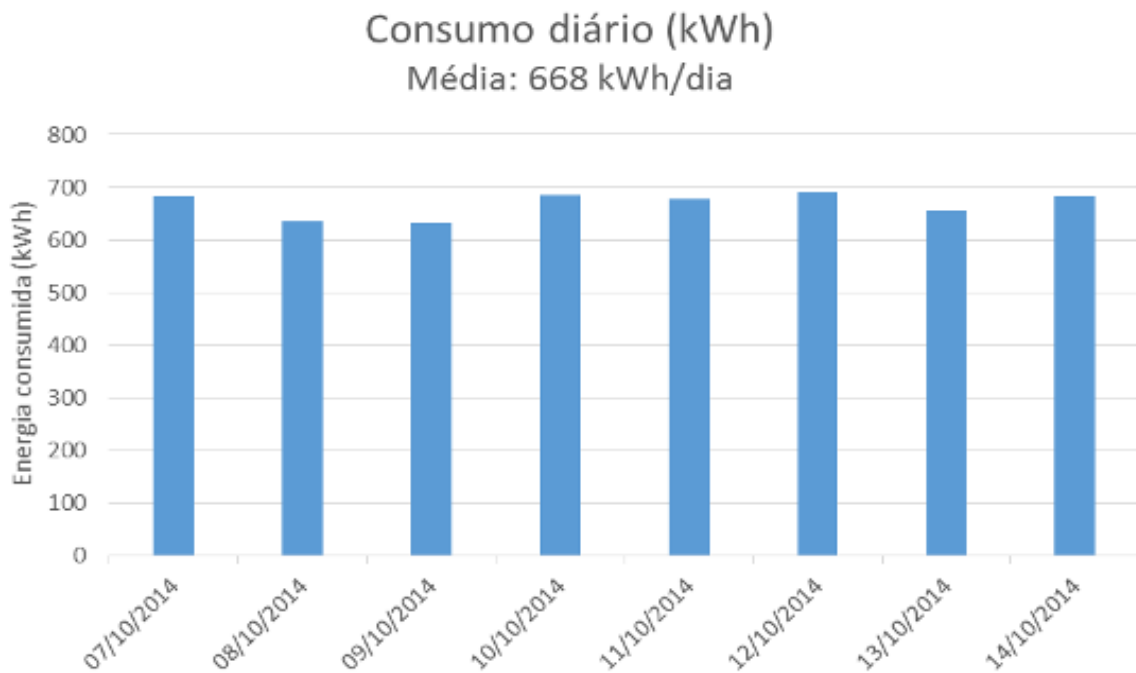


Figura 56 - Consumo diário de energia, com consumo máximo de 683,297 kWh no dia 12/10/2014.

Já a figura 57 apresenta a potencia em kW utilizadas pelas bombas do reservatório R3.

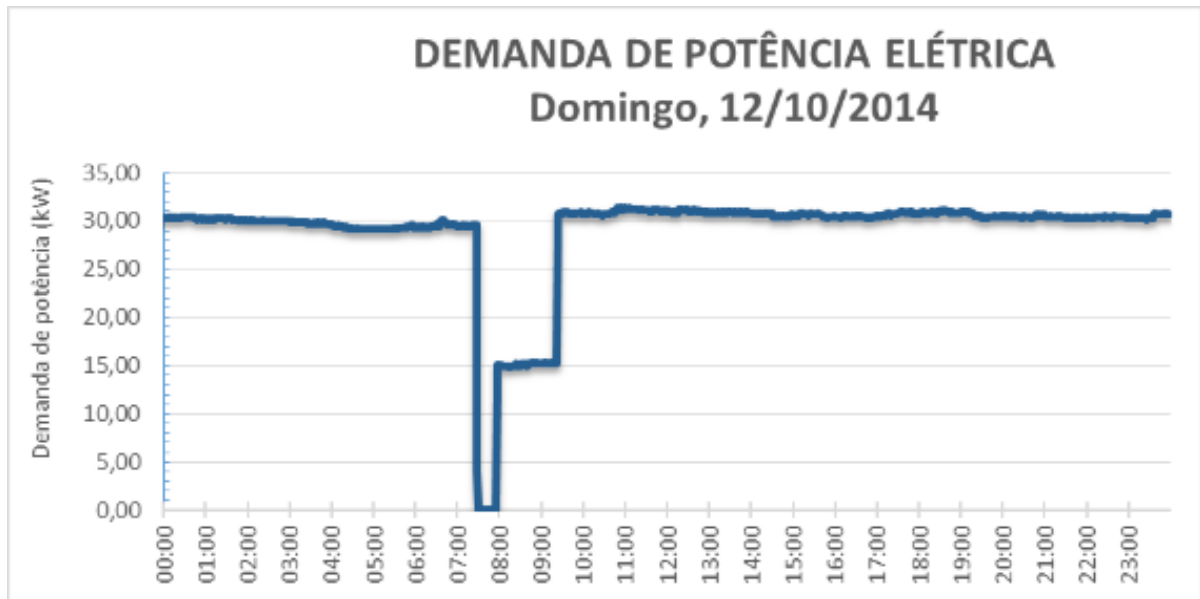


Figura 57 - Curva de carga do dia 12/10/2014, dando uma potencia média de 28,77 kW.

Os dois gráficos são de suma importância, pois mostram os consumos das bombas, valores utilizados para o cálculo do indicador Ph4.

$$Ph4 = D2 / (C7 \times 24) \times 100.$$

$$D2 = 683,297 \text{ kWh} \times 28,55\% \text{ (valor proporcional ao setor).}$$

$$D2 = 195,08 \text{ kWh.}$$

$$C7 = 28,77 \text{ kW} \times 28,55\% \text{ (valor proporcional ao setor).}$$

$$C7 = 8,21 \text{ kW.}$$

Logo **Ph4 = 98,9 %**.

Assim se conclui que 98,9% da capacidade de bombeamento foi utilizado no dia de maior consumo energético.

b) Ph5 - Consumo de energia normalizada (kWh/m<sup>3</sup>/100m)

$$Ph5 = D1 / D3.$$

D1 - Consumo de energia no bombeamento.

D3 – Fator de uniformização (m<sup>3</sup>x100m) ou seja, o volume bombeado no período x altura manométrica/100.

H - Altura total de elevação (manométrica) do sistema [m].

Tabela 17 - Volume bombeado no período de referencia, segundo empresa contratada.

	<b>Ponto</b>	<b>n [rpm]</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>H [m]</b>
<b>Paralelo</b>	Shutoff B1	3500	0,00	62,89
	Operação B1	3500	37,49	60,35
	Shutoff B2	3500	0,00	68,80
	Operação B2	3500	16,90	65,08
<b>Vazão total</b>			<b>54,39</b>	

Na tabela 17, foram calculadas as alturas manométricas, lembrando que os dois motores estão em paralelo e são idênticos. Se pode observar que a bomba 2 opera com baixo rendimento pois foi verificado no dia do trabalho de campo que estava funcionando com a válvula de retenção quebrada (vazão na bomba 2 foi menos da metade da vazão da bomba 1, apesar de serem idênticas).

H(m) da bomba 1= 60,35m.

H(m) da bomba 2= 65,08m.

Q(m<sup>3</sup>/h) da bomba 1 = 37,49 m<sup>3</sup>/h

Q(m<sup>3</sup>/h) da bomba 2 = 16,9 m<sup>3</sup>/h

Segundo Andrade (2010), para a associação das bombas em paralelo (caso da cidade 1), basta somar as alturas manométricas e os volumes bombeados.

Logo sua altura manométrica ficou em torno de **125,43 m** e o volume bombeado no período ficou em torno de **54,39 m<sup>3</sup>/h**.

A tabela 18 apresenta o consumo de energia durante a semana do trabalho de campo, onde foi feita a média consumida, sendo importante para o cálculo do indicador Ph5.

Tabela 18 - Média do consumo de energia (D1).

<b>Data</b>	<b>Energia consumida</b>
07/10	534,307
08/10	668,779
09/10	674,45
10/10	632,129
11/10	681,722
12/10	683,297
13/10	672,985
14/10	677,163
<b>Média</b>	<b>655,68 kWh/dia = 27,32 kWh</b>

Com esses valores calculados aplica-se a fórmula de Ph5 citada anteriormente, para encontrar o consumo de energia normalizado das bombas de R3.

$$\text{Ph5} = \text{D1} / \text{D3}.$$

Onde:

$$\text{D3} = 54,39 \times 125,43 / 100 = 68,22 \text{ (m}^3\text{x100m)}.$$

$$\text{Ph5} = 0,40 \text{ kWh/m}^3\text{/100 m}.$$

Segundo Sabesp (2014), o valor se encontra em uma faixa considerada como boa eficiência energética, como apresentada na tabela 19.

Tabela 19 - Faixa de eficiência energética relacionada ao consumo de energia normalizado, segundo Sabesp (2014).

<b>Consumo de Energia Normalizado (kWh/m<sup>3</sup>/100m)</b>	<b>Eficiência energética</b>
0,27 a 0,40	Boa
0,40 a 0,54	Mediano
> 0,54	Insatisfatório

c) Ph6 - Consumo de energia reativa.

$$Ph6 = D4 / D1 \times 100.$$

O consumo médio de energia reativa medida pela empresa contratada foi de 33401,702 kVar/min ou seja 2004102,12 kVar/hora

$$D4 = 5780,22 \text{ kVar.}$$

$$D1 = 655 \text{ kWh.}$$

$$Ph6 = 30,59\%.$$

Energia Reativa é a energia gerada pelos motores da estação elevatória que possuem carga indutiva. A energia reativa em excesso prejudica a concessionária de energia, que por sua vez cobra uma tarifa por esse retorno. Essa tarifa reativa possui aproximadamente o mesmo valor unitário da tarifa sobre o consumo ativo, ou seja, acaba pagando duas vezes pelo uso da mesma quantidade de energia.

O resultado de Ph6 em mais de 30% mostra que o gasto excessivo dessa energia reativa encarece a conta de energia no final do mês, gerando uma perda financeira considerável.



d) Ph8 – Densidade de válvulas (nº / km).

$$\text{Ph8} = \text{C22} / \text{C9}$$

$$\text{C22} = 8,698 \text{ km.}$$

$$\text{C9} = 8 \text{ registros.}$$

$$\text{Ph8} = 8 / 8,698 = \mathbf{0,92 \text{ registros por km.}}$$

Esse indicador verifica a capacidade de se isolar um setor caso necessite de eventuais intervenções na rede.

e) Ph 14 – Grau de automação (%).

$$\text{Ph14} = \text{C16} / \text{C15} \times 100$$

$$\text{C15} = 2 \text{ unidades.}$$

$$\text{C16} = 2 \text{ unidades.}$$

$$\mathbf{\text{Ph14} = 100\%}.$$

Ou seja, o setor foi totalmente automatizado.

f) Ph15 – Grau de controle remoto (%)

$$\text{Ph15} = \text{C17} / \text{C15} \times 100.$$

$$\text{C15} = 2 \text{ unidades.}$$

$$\text{C17} = 0 \text{ unidades.}$$

$$\mathbf{\text{Ph15} = 0\%}.$$

Ou seja, não existe no setor um controle remoto de todo o sistema, que ajudaria no monitoramento em tempo real do setor.

g) WR1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos

$$WR1 = A19 / A3 \times 100.$$

$$A19 = 26599,61 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$A3 = 95795,61 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$\mathbf{WR1 = 27,77\%}.$$

Esse indicador revela a ineficiência na utilização dos recursos hídricos no setor em estudo, que ficou em torno de 27,77%.

h) Op23 – Perdas de água por ramal (m<sup>3</sup>/ramal/ano).

$$Op23 = (A15 \times 365 / H1) / C24.$$

$$A15 = 27225,18 \text{ m}^3/\text{ano} = 74,59 \text{ m}^3.$$

$$C24 = 487 \text{ ramais}.$$

$$H1 = 1 \text{ ano}.$$

$$\mathbf{Op23 = 55,90 \text{ m}^3/\text{ramal/ano}}.$$

Comparando com a tabela 20, segundo ABES (2013), o valor foi alterado para litros/ligação/dia, ou seja, 153,15 litros/ligação/dia. Como o Brasil é considerado um país em desenvolvimento e como a pressão do setor de estudo está na faixa de 30 mca, observou-se que a cidade 1 se encontra entre a categoria A e B, logo está quase bom, ou seja, uma procura ativa de vazamentos pode melhorar o sistema, como mostrado na tabela 20.

Os ILI são os indicadores de perdas físicas (Infrastructure Leakages Index).

- Categoria A: mais pesquisas para redução das perdas pode ser anti-econômico.
- Categoria B: uma procura ativa de vazamentos pode melhorar o sistema.
- Categoria C: deve ser intensificado a procura dos vazamentos a não ser que se tenha muita água a preço muito baixo.
- Categoria D: O sistema é muito ineficiente e deve ser aplicado muitos recursos na procura dos vazamentos.

Tabela 20 - Bandas de referência para redução de perdas, segundo ABES (2013).

Categoria de performance técnica		ILI	litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado) numa pressão média de:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
País Desenvolvido	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
País 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

i) Op 24 – Perdas de água por comprimento de conduto ( $m^3/km/dia$ ).

$$Op24 = (A15/H1)/C8.$$

$$A15 = 27225,18 \text{ m}^3/\text{ano} = 74,59 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

$$C8 = 8,698 \text{ km}.$$

$$H1 = 1 \text{ dia}.$$

$$Op24 = 8,57 \text{ m}^3/\text{km de conduto/dia}.$$

Segundo Alegre (2014) esse indicador se aplica por apresentar uma densidade de ramais maior que 20/Km (neste caso deram 56 ramais por Km).

Esse resultado está próximo da perda média de 7,6  $m^3/km/dia$  existente no Brasil segundo ABES-SP (2014).

j) Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%).

$$\text{Op26} = \text{A18} / \text{A3} \times 100$$

$$\text{A3} = 95795,61 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$\text{A18} = 625,87 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$\text{Op26} = \mathbf{0,65 \%}.$$

k) Op 27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia).

$$\text{Op27} = \text{A19} \times 1000 / (\text{C24} \times \text{H2} / 24)$$

$$\text{A19} = 26599,31 \text{ m}^3/\text{ano} = 72,87 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

$$\text{C24} = 487 \text{ ramais}.$$

$$\text{H2} = 24 \text{ h}.$$

$$\text{Op27} = \mathbf{149,63 \text{ l/ramal/dia}}.$$

l) Op 28 – Perdas por comprimento de conduto (l/km de conduto/dia).

$$\text{Op28} = \text{A19} \times 1000 / \text{C8} \times \text{H2} / 24$$

$$\text{A19} = 26599,31 \text{ m}^3/\text{ano} = 72,87 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

$$\text{C8} = 8,698 \text{ km}.$$

$$\text{H2} = 24 \text{ h}.$$

$$\text{Op28} = \mathbf{8377,80 \text{ l/km de conduto/dia}}.$$

Segundo Alegre, et. Al. (2004) esse indicador não se aplica por apresentar uma densidade de ramais maior que 20/Km (neste caso deram 56 ramais por Km).

Esse mesmo indicador foi apresentado com outra formulação por IWA (2005), chegando em um mesmo valor das perdas reais em litros por km de conduta.

Perdas reais (l/km conduta/dia) =  $\frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3\text{/ano)} \times 1000}{\text{\%ano sistema pressurizado} \times \text{comp. de condutas (km)} \times 365}$

Para uma perda de 26599,31 m<sup>3</sup>/ano e 8,698 km de condutos se tem.

**Perdas reais (l/km conduta/dia) = 8378,34 l/km conduta/dia.**

m) Op29 – Indicador de infra estrutura de fugas.

$Op29 = Op27 / (18 \times C8 / C24 + 0,7 + 0,025 \times C25) / (D34 / 10)$

Op27 = 149,63 l/ramal/dia.

C8 = 8,698 km.

C24 = 487 ramais.

C25 = 4m (estimado).

D34 = 31,3 mca = 306,76 kPa.

**Op29 = 4,36**

Sistemas com boa manutenção tendem a apresentar valores próximos de 1. Segundo Alegre et al. (2004)

n) Fi46 – Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume.

$Fi46 = A21 / A3 \times 100$

A3 = 95795,61m<sup>3</sup>/ano

A21 = 27.225,18 m<sup>3</sup>/ano

**Fi46 = 28,42%**

Ou seja 28,42% é o volume de água não faturado.

Segundo a ABES (2013) a média no Brasil das perdas nos sistemas de abastecimento de água gira em torno de 40%, incluindo as perdas reais e aparentes, que neste caso, é o mesmo valor da água não faturada em termos de volume. Com esse indicador se observa que as perdas estão um pouco abaixo da média nacional, no setor de estudo da cidade 1.

o) Op39 - Indicador de água não medida.

$$\text{Op39} = (A3 - A8 - A11) / A3 \times 100.$$

$$A3 = 95795,61 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$A8 = 68570,43 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$A11 = 0.$$

$$\text{Op39} = 28,42\%.$$

Segue abaixo da média do Brasil que fica em torno de 40%, como mostra ABES (2014).

Os valores de Op39 e Fi46 assumem o mesmo valor pois em ambos os indicadores o consumo não faturado medido é nulo.

p) Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia) segunda IWA (2005)

A equação abaixo se baseia em resultados de observação em casos de estudos internacionais.

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = (18 \times L_m / N_c + 0,7 + 0,025 \times L_p) \times P / 10$$

Assim temos:

$$L_m = 8,698 \text{ km}.$$

$$N_c = 487 \text{ casas ou ramais}.$$

$$L_p = 4 \text{ m (estimado)}.$$

$$P = 31,3 \text{ mca} = 306,76 \text{ kPa}.$$

Calculando:

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = (18 \times 8,698 / 487 + 0,8 + 0,025 \times 4) \times 306,76 / 10$$

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = \mathbf{34,40 \text{ l/ramal/dia}}.$$

Tem-se 487 ramais/8,698 Km de conduto, gerando o valor de densidade média dos ramais de 55,99 por Km de conduta.

Como a pressão média é de 31,3 mca, se obteve o valor das perdas mínimas (l/ramal/dia) de **34,40** l/ramal/dia, que se aproxima da região assinalada na tabela 21 e que estão dentro das faixas encontradas por Alegre et al. (2004).

Tabela 21 - Valores indicativos de perdas mínimas (l/ramal /dia), Alegre et al. (2004).

Densidade média de ramais (por km de conduta da rede pública)	Pressão de serviço média (m c.a.)				
	20	40	60	80	100
20	34	68	112	146	170
40	25	50	75	100	125
60	22	44	66	88	110
80	21	41	62	82	103
100	20	39	59	78	98



### 5.2.2 - Cálculo dos indicadores - Cidade 2

O primeiro passo foi calcular o número de ramais existentes no setor de estudo (tabela 22). Com ajuda do SAAE foi disponibilizado as contas detalhadas de todas as residências e assim feito a contagem do número de registros existentes, ou seja, o número de ramais.

Os cálculos dos número de ramais, foram gerados no período de 1 ano, a partir das contas do mês de outubro de 2014 até outubro de 2015, onde se fez a média do número de ramais e sua soma total, como mostrado abaixo.

Tabela 22 - Número de ramais do setor estudado.

Local	Número de ramais
Moradas da Serra.	87
Palmela.	199
Vale dos Pinheiros.	199
<b>Número total de ramais para o setor escolhido</b>	<b>535</b>

Outro item importante foi o consumo médio da bomba na estação elevatória de Vila Nova, calculado a partir da média dos itens medidos. Esses valores foram medidos pela empresa contratada e são apresentados na figura 58. Logo o consumo médio da bomba é 549 kWh/dia e seu tempo de operação ficou em torno de 14 horas por dia. Assim o consumo máximo diário chegou a 593,64 kWh.

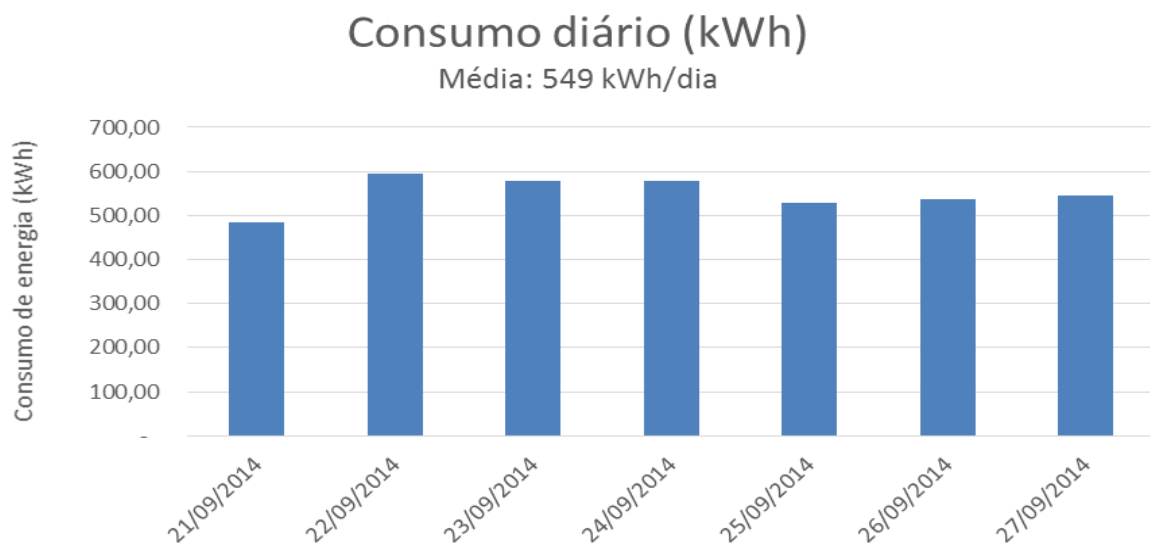


Figura 58 - Consumo diário em kWh da bomba.

Com o gráfico da figura 59, se calculou com maior precisão a vazão média na entrada do sistema, coletados durante os 7 dias de campanha de campo. Esses valores foram de 11,10 l/s, dando um total de 345475,95 m<sup>3</sup>/ano, 28789,66 m<sup>3</sup>/mês ou 39,98 m<sup>3</sup>/h.

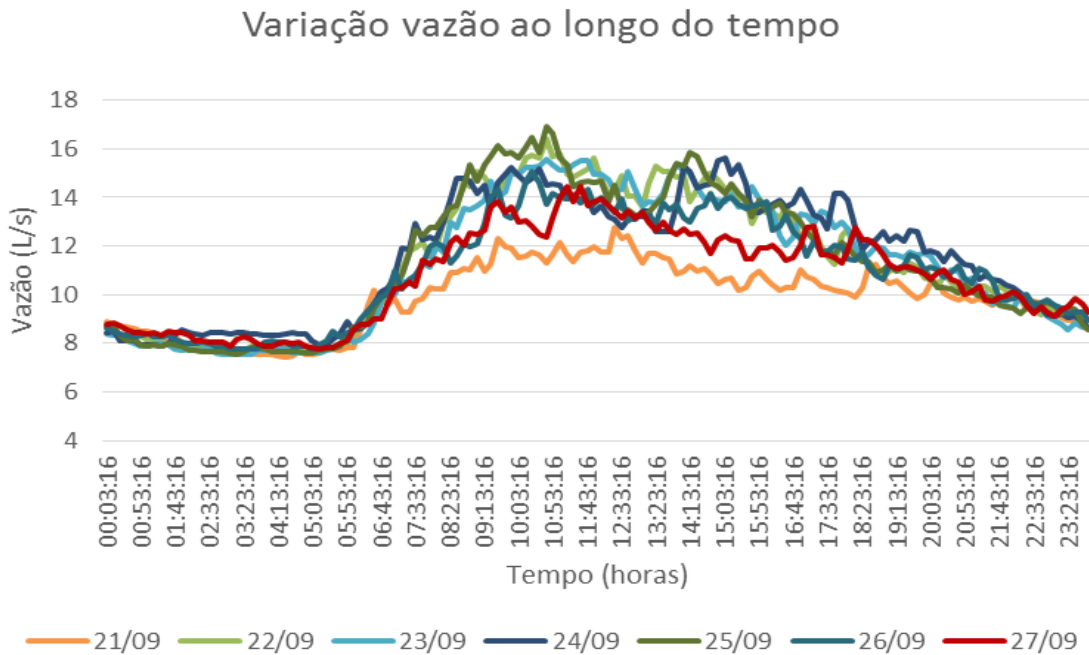


Figura 59 - Vazão na entrada do sistema (posto de visita) para os 7 dias de monitoramento.

Outro importante item a se observar foi a energia elétrica gasta pela bomba na estação elevatória de Vila Nova, onde bombeia a água para um reservatório que por gravidade abastece o setor em estudo e também outros setores. Por isso se calculou esse valor de energia gasto no setor, levando em conta o consumo proporcional à vazão de entrada do setor.

A vazão de saída da bomba na estação elevatória foi de 753751,3 m<sup>3</sup>/ano já a vazão medida no posto de visita na entrada do setor foi de 342818,2 m<sup>3</sup>/ano. Assim temos uma relação de proporcionalidade entre o gasto de energia da bomba e a energia realmente gasta pelo setor.

753751,3 m<sup>3</sup>/ano é o total , logo 342818,2 m<sup>3</sup>/ano representa 45,48% do total.

A tabela de balanço hidrico (tabela 23) desenvolvida por Fortes (2016), integrante do grupo de pesquisa, mostrou alguns valores importantes para os cálculos dos indicados.

Tabela 23 - Balanço hídrico do setor em estudo da cidade 2, Fortes (2016).

<p>Água na entrada no sistema</p> <p><b>345.475,95(m3/ano)</b></p> <p><b>(100%)</b></p>	<p>Consumo autorizado</p> <p><b>122.880,00</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p> <p><b>(36%)</b></p>	<p>Consumo autorizado faturado</p> <p><b>122.880,00</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p>	<p>Consumo faturado medido (incluindo água exportada) =</p> <p><b>122.880,00</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p>	<p>Água faturada = <b>122.880,00</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p> <p><b>(36%)</b></p>	
			<p>Consumo faturado não medido</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>		
			<p>Consumo autorizado não faturado</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	<p>Consumo não faturado medido</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
				<p>Consumo não faturado não medido</p> <p><b>0 m<sup>3</sup>/ano</b></p>	
	<p>Perdas de água</p> <p><b>222.595,95</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p> <p><b>(64%)</b></p>	<p>Perdas aparentes</p> <p><b>5.117,15</b></p> <p><b>(m<sup>3</sup>/ano)</b></p>	<p>Usos não autorizados</p> <p><b>665,23 (m3/ano)</b></p>	<p>Água não faturada (perdas comerciais)</p> <p><b>222.595,95</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p> <p><b>(64%)</b></p>	
					<p>Erros de medição</p> <p><b>4.451,92 (m3/ano)</b></p>
		<p>Perdas reais</p> <p><b>217.478,80</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p>	<p>Perdas nos sistemas de adução e/ou distribuição =</p> <p><b>160.269,08</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p>		
					<p>Perdas e extravasamento nos reservatórios =</p> <p><b>14.023,54</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p>
		<p>Perdas nos ramais (montante do ponto de medição) =</p> <p><b>43.186,17</b></p> <p><b>(m3/ano)</b></p>			

Com os dados medidos em campo, tratados e ajustados, alguns indicadores foram calculados segundo a bibliografia atual existente e seguindo a linha de pesquisa apresentada por Alegre et. al. (2004).

Esses índices denominados indicadores de desempenho são abaixo calculados.

a) Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento (%).

A figura 60 apresenta a variação da potencia das bombas, muito importante para o calculo do indicador Ph4.

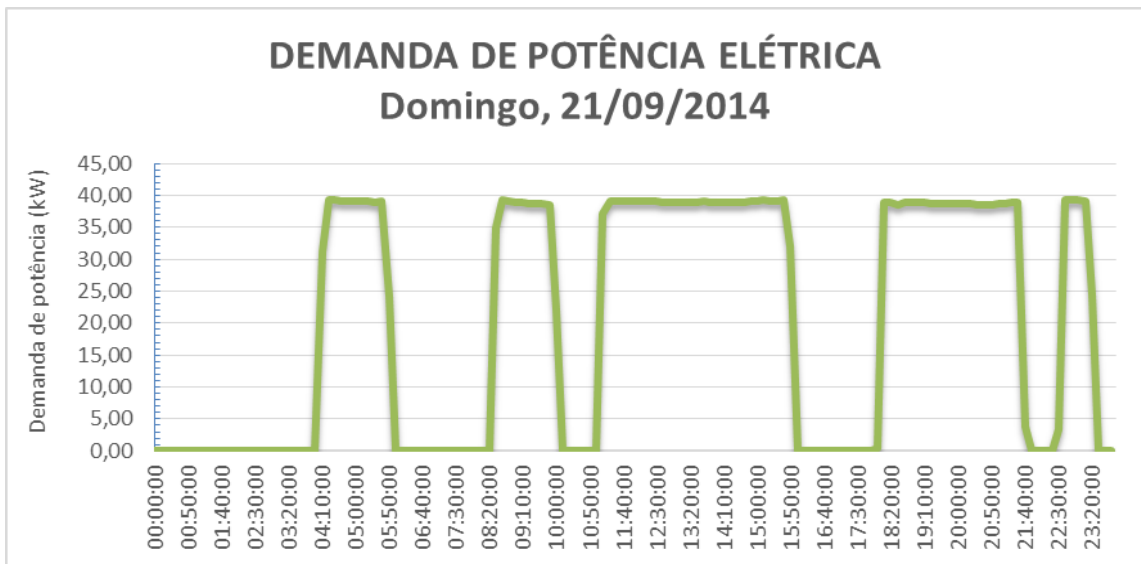


Figura 60 - Curva de carga do dia 21/09/2014, com potencia média de 39 kW.

$$Ph4 = D2 / (C7 \times 24) \times 100.$$

D2 – Consumo máximo diário de energia para o bombeamento (kWh) ), ou seja, o número de horas de funcionamento do motor no dia de maior consumo energético durante o período de referencia X potencia nominal (esse valor foi retirado do gráfico da figura 55 e se refere aos consumos diários em kWh da bomba).

$$D2 = 593,64 \text{ kWh} \times 45,48\% \text{ (valor proporcional ao setor).}$$

$$D2 = 269,99 \text{ kWh.}$$

$$C7 = 39\text{kW} \times 45,48\% \text{ (valor proporcional ao setor).}$$

$$C7 = 17,74 \text{ kW.}$$

Logo **Ph4 = 63,41 %**.

Com isso 63,41% da capacidade de bombeamento foi utilizado no dia de maior consumo energético.

b) Ph5 - Consumo específico de energia normalizado [kWh.m-3].

A tabela 24 mostrou alguns importantes dados coletados em campo que são de suma importância para o cálculo da energia normalizada, como rotação do motor, vazão e altura manométrica, onde foram feitos testes com a bomba em funcionamento (operação) e em Shutoff.

Tabela 24 - Dados coletados em campo.

	<b>n [rpm]</b>	<b>Q [m³/h]</b>	<b>H [m]</b>
<b>Shutoff</b>	3540	0,00	63,77
<b>Operação</b>	3540	142,25	56,42

Como o consumo médio da bomba é 549 kWh/dia ou seja 22,87 kWh.

Com esses valores calculados aplica-se a fórmula de Ph5 citada anteriormente, para encontrar o consumo de energia normalizado das bombas de R3.

$$Ph5 = D1 / D3.$$

$$D3 = 142,25 \text{ m}^3/\text{h} \times 56,42 / 100 = 80,25 \text{ (m}^3 \times 100\text{m)}.$$

$$Ph5 = 0,28 \text{ kWh/m}^3/100 \text{ m}.$$

Segundo Sabesp (2014) o valor encontrado estava em uma faixa considerada como boa eficiência energética, como mostra a tabela 19.

c) Ph6 - Consumo de energia reativa (%).

$$\text{Ph6} = \text{D4} / \text{D1} \times 100.$$

$$\text{D4} = 15356,68 \text{ kVar/min ou } 921400,80$$

$$\text{D1} = 549 \text{ kWh.}$$

Onde kWh e kVar são equivalente e sua razão adimensional.

$$\text{Ph6} = \mathbf{16,78 \%}.$$

O resultado de Ph6 em mais de 16% mostra um pequeno gasto dessa energia reativa que encarece a conta de energia no final do mês, gerando uma perda financeira considerável.

d) Ph8 – Densidade de válvulas (n° / km).

$$\text{Ph8} = \text{C22} / \text{C9}$$

C22 - Válvulas de seccionamento. 6 registros.

C9 – Comprimento da rede de distribuição (km). 12,38 km.

$$\text{Ph8} = \mathbf{12,38 / 6 = 2,06 \text{ registros por km.}}$$

Esse indicador verifica a capacidade de se isolar um setor caso necessite de eventuais intervenções na rede.

e) Ph 14 – Grau de automação (%).

$$\text{Ph14} = \text{C16} / \text{C15} \times 100$$

C15 – Unidade de controle. 2 unidades.

C16 - Unidade com controle automático. 2 unidades.

$$\text{Ph14} = \mathbf{100\%}.$$

Ou seja, o setor foi totalmente automatizado.

f) Ph15 – Grau de controle remoto (%)

$$\text{Ph15} = \text{C17} / \text{C15} \times 100.$$

C15 – Unidade de controle. 2 unidades.

C17 - Unidade com controle remotamente. 0 unidades.

$$\mathbf{\text{Ph15} = 0\%}.$$

Ou seja, não existe no setor um controle remoto de todo o sistema, que ajudaria no monitoramento em tempo real do setor.

g) R1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%).

$$\text{WR1} = \text{A19} / \text{A3} \times 100.$$

A19 – Perdas reais (m<sup>3</sup>). 217.478,80 m<sup>3</sup>/ano.

A3 – Água na entrada do sistema (m<sup>3</sup>). 345.475,95m<sup>3</sup>/ano.

$$\mathbf{\text{WR1} = 62,95\%}.$$

Esse indicador mostra a ineficiência na utilização dos recursos hídricos no setor em estudo, que ficou em torno de 62,95%.

h) Op23 – Perdas de água por ramal (m<sup>3</sup>/ramal/ano).

$$\text{Op23} = (\text{A15} \times 365 / \text{H1}) / \text{C24}.$$

A15 = 222.595,95 m<sup>3</sup>/ano.

C24 = .535 ramais.

H1 = 1 dia.

$$\mathbf{\text{Op23} = 416,06 \text{ m}^3/\text{ramal}/\text{ano}}.$$

Comparando com a tabela referencial para redução de perdas, segundo ABES (2013), o valor é alterado para litros/ligação/dia, ou seja, 1140 litros/ligação/dia. Segundo a tabela 20, no caso das cidades brasileiras em desenvolvimento e com uma pressão do setor de estudo na faixa de 60 mca, observou que a cidade 2 se encontra em uma faixa fora da tabela, por analogia considerou-se que ela se encontra na categoria de performance técnica D, onde o sistema é muito ineficiente e deve ser aplicado muitos recursos na procura dos vazamentos.



- i) Op 24 – Perdas de água por comprimento de conduto (m<sup>3</sup>/km/dia).

$$\text{Op24} = (\text{A15}/\text{H1}) / \text{C8}.$$

$$\text{A15} = 222.595,95 \text{ m}^3/\text{ano} = 609,85 \text{ m}^3.$$

$$\text{C8} = 12,38 \text{ km}.$$

$$\text{H1} = 1 \text{ dia}$$

$$\text{Op24} = \mathbf{49,26 \text{ m}^3/\text{km}/\text{dia}}.$$

Segundo Alegre et al. (2004) esse indicador se aplica por apresentar uma densidade de ramais maior que 20/Km (neste caso deram 43 ramais por Km).

Esse resultado ficou muito acima da perda média de 7,6 m<sup>3</sup>/km/dia existente no Brasil segundo Abes-SP (2014).

- j) Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%).

$$\text{Op26} = \text{A18}/\text{A3} \times 100$$

$$\text{A3} = 345475,95 \text{ m}^3.$$

$$\text{A18} = 5117,15 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$\text{Op26} = \mathbf{1,48\%}$$

- k) Op 27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia).

$$\text{Op27} = \text{A19} \times 1000 / (\text{C24} \times \text{H2} / 24).$$

$$\text{A19} = \mathbf{217.478,80 \text{ m}^3/\text{ano}} = 595,83 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

$$\text{C24} = 535 \text{ ramais}.$$

$$\text{H2} = 24 \text{ h}.$$

$$\text{Op27} = \mathbf{1113,70 \text{ l}/\text{ramal}/\text{dia}}.$$

l) Op 28 – Perdas por comprimento de conduta (l/km conduta/dia).

$$Op28 = A19 \times 1000 / C8 \times H2 / 24.$$

$$A19 = \mathbf{217.478,80} \text{ m}^3/\text{ano} = 595,83 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

$$C8 = 12,38 \text{ km}.$$

$$H2 = 24 \text{ h}.$$

$$\mathbf{Op28 = 48128,43 \text{ l/km conduta/dia}.$$

Segundo Alegre et al. (2014) esse indicador não se aplica por apresentar uma densidade de ramais maior que 20/Km (neste caso deram 43 ramais por Km).

Esse mesmo indicador foi apresentado com outra formulação por IWA (2005), chegando em um mesmo valor das perdas reais em litros por km de conduta.

$$\text{Perdas reais (l/km conduta/dia)} = \frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3/\text{ano)} \times 1000}{\% \text{ ano sistema pressurizado} \times \text{comp. de condutas (km)} \times 365}$$

Para uma perda de 217.478,80 m<sup>3</sup>/ano e 12,38 km de condutos temos.

$$\mathbf{\text{Perdas reais (l/km conduta/dia)} = 48128,43 \text{ l/km de conduto/dia}.$$

m) Op29 – Indicador de infra estrutura de fugas.

$$Op29 = Op27 / (18 \times C8 / C24 + 0,7 + 0,025 \times C25) / (D34 / 10)$$

$$Op27 = \mathbf{1113,70 \text{ l/ramal/dia}.$$

$$C8 = 12,38 \text{ km}.$$

$$C24 = 535 \text{ ramais}.$$

$$C25 = 4\text{m (estimado)}.$$

$$D34 = 62,37 \text{ mca} = 611,23\text{kPa}.$$

$$\mathbf{Op29 = 15,05 \text{ l/ramal/dia}.$$

Sistemas com boa manutenção tendem a apresentar valores próximos de 1, segundo Alegre et al. (2004).

n) Fi46 - indicador financeiro, água não faturada em termos de volume. (%).

$$Fi46 = A21 / A3 \times 100$$

$$A3 = 345475,95 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$A21 = 222.595,95 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$\mathbf{Fi46 = 64,43\%}.$$

Ou seja 64,43% é o volume de água não faturado.

Segundo ABES (2013) a média no Brasil para perdas nos sistemas de abastecimento de água gira em torno de 40%, incluindo as perdas reais e aparentes, que neste caso, é o mesmo valor da água não faturada em termos de volume. Com esse indicador pode-se observar a existencia de um alto indice de perdas nesse setor de estudo.

o) Op39 - Indicador de água não medida.

$$Op39 = (A3 - A8 - A11) / A3 \times 100.$$

$$A3 = 345475,95 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$A8 = 148176,0 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

$$A11 = 0.$$

$$\mathbf{Op39 = 64,43\%}$$

Segue acima da média do Brasil que fica em torno de 40%, segundo ABES (2014).

Os valores de Op39 e Fi46 assumem o mesmo valor pois em ambos os indicadores o consumo não faturado medido é nulo.

p) Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia), segunda IWA (2005)

A equação abaixo se baseia em resultados de observação em casos de estudos internacionais.

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = (18 \times L_m / N_c + 0,7 + 0,025 \times L_p) \times P/10$$

Assim temos:

$$L_m = 12,38 \text{ km.}$$

$$N_c = 535 \text{ casas ou ramais.}$$

$$L_p = 4 \text{ m (estimado).}$$

$$P = 62,37 \text{ mca} = 611,23 \text{ kPa.}$$

Calculando:

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = (18 \times 12,38/535 + 0,7 + 0,025 \times 4) \times 611,23/10$$

$$\text{Perdas mínimas (l/ramal/dia)} = \mathbf{74,36 \text{ l/ramal/dia.}}$$

Esses valores estão dentro das faixas encontradas por Alegre (2005), conforme mostrou a tabela 27 abaixo.

Tem-se 535 ramais/12,38 Km de conduta, gerando o valor de densidade média dos ramais de 43,21 por Km de conduta. Como a pressão média é de 62,37 mca, observou-se na tabela VII a região onde se encontra o valor das perdas mínimas (l/ramal/dia) de **74,36** l/ramal/dia, que se aproximou da região marcada na tabela 27.

Tabela 27 - Valores indicativos de perdas mínimas (l/ramal /dia), Alegre et al. (2004).

Densidade média de ramais (por km de conduta da rede pública)	Pressão de serviço média (m c.a.)				
	20	40	60	80	100
20	34	68	112	146	170
40	25	50	75	100	125
60	22	44	66	88	110
80	21	41	62	82	103
100	20	39	59	78	98

### 5.3 – Estudo comparativo das variáveis obtidas e dos indicadores calculados

#### 5.3.1 - Estudo comparativo das variáveis obtidos

Para efeito de comparação entre as principais variáveis encontradas, a tabela 28 apresenta esses valores de forma direta.

Tabela 28 – Comparação das variáveis dos setores das cidades 1 e 2.

Valores medidos e calculados	Cidade 1	Cidade 2
Vazão de entrada do setor	95795,61 m <sup>3</sup> /ano	345475,95 m <sup>3</sup> /ano
Água faturada	68570,43 m <sup>3</sup> /ano (71,58%)	122880,00 m <sup>3</sup> /ano (36%)
Água não faturada (perdas)	27225,18 m <sup>3</sup> /ano (28,42%)	222595,95 m <sup>3</sup> /ano (64%)
Relação entre a vazão bombeada e a vazão no setor.	28,55%	45,48%
Consumo médio diário de energia	655,68 kWh/dia	549,00 kWh/dia
Consumo máximo diário de energia	683,30 kWh/dia	593,64 kWh/dia
Energia reativa consumida	33154,22 kVar	9967,01 kVar
Altura total de elevação (manométrica) do sistema	Bomba 1 + Bomba 2 125,43 m	1 bomba 56,42 m
Pressão média de operação	31,3 mca = 306,76 kPa	62,37 mca = 611,23 kPa.
Número de ramais	487	535
Número de registros	8	6
Comprimento dos condutos	8,698 km	12,38 km

Na tabela 28 se pode comparar a vazão na entrada dos setores das duas cidade em estudo. Como se pode notar a vazão da cidade 2 é quase 3 vezes a vazão da cidade 1.

Se observou também a grande diferença existente nos dois setores em relação a água que é faturada, apenas 36% da água que entra no setor da cidade 2 é cobrada, ou seja possui um alto índice de perdas.

Já a quantidade de água que não foi faturada, ou seja, as perdas na distribuição, mostra o alto índice existentes no setor da cidade 2 estudada.

Como apresentado na tabela 28, se observa a relação entre a vazão bombeada pelas estações elevatórias e a vazão real do setor estudado. Essa relação foi computada para que a vazão estudada seja exatamente a vazão de cada setor, pois a estação elevatória manda apenas uma parte da água bombeada para o reservatório estudado em cada cidade.

Na cidade 1 o gasto diário médio de energia foi um pouco maior que o da cidade 2. Já o consumo máximo de cada setor apresentaram valores próximos.

A energia reativa consumida pelas duas cidades (figura 67), mostra que a cidade 1 está com valor alto e com isso está pagando excedente na conta no final do mês, acarretando desperdício de dinheiro.

Outro importante valor a ser tratado é a altura de elevação manométrica do setor, onde se pode verificar que a cidade 1, por apresentar 2 bombas em paralelo, tem um valor alto, pois sua altura manométrica é somada (bomba 1 + bomba 2).

A pressão média da cidade 2 foi quase o dobro da cidade 1. Com isso se notou que a cidade 2 possui mais problemas com vazamentos e perdas de água durante a distribuição.

A tabela 28 também apresentou o número de ramais (casas) existentes nos setores das duas cidades. Outro item importante é o número de registros e o comprimento total das tubulações de cada região estudada.

### 5.3.2 - Estudo comparativo dos indicadores calculados

Os indicadores calculados são apresentados inicialmente na tabela 29 e posteriormente, em forma de gráfico para uma comparação mais detalhada.

Tabela 29 – Comparação dos indicadores dos setores das cidades 1 e 2.

<b>Indicadores</b>	<b>Cidade 1</b>	<b>Cidade 2</b>
a) Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%).	98,9 %	63,41 %.
b) Ph5 - Consumo de energia normalizada (kWh/m <sup>3</sup> /100m).	0,40 kWh/m <sup>3</sup> /100 m	0,28 kWh/m <sup>3</sup> /100 m
c) Ph6 - Consumo de energia reativa (%).	30,59%	16,78 %.
d) Ph8 - Densidade de válvulas (n <sup>o</sup> / km).	1,08 registros por km	2,06 registros por km
e) Ph 14 – Grau de automação (%).	100%	100%
f) Ph15 – Grau de controle remoto (%).	0%	0%
g) WR1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)	27,77%	62,95%.
h) Op23 – Perdas de água por ramal (m <sup>3</sup> /ramal/ano).	55,90 m <sup>3</sup> /ramal/ano	416,06 m <sup>3</sup> /ramal/ano.
i) Op 24 – Perdas de água por comprimento de conduta (m <sup>3</sup> /km/dia).	8,57 m <sup>3</sup> /km conduto/dia	49,26 m <sup>3</sup> /km conduto/dia.
j) Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%).	0,65 %	1,48%
k) Op 27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia).	149,63 l/ramal/dia	1113,70 l/ramal/dia.
l) Op 28 – Perdas por comprimento de conduto (l/km de conduto/dia).	8377,80 l/km de conduto/dia	48128,43 l/km conduta/dia.
m) Op29 – Indicador de infra estrutura de fulgas.	4,36	15,05
n) Fi46 – Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume (%)	28,42%	64,43%
o) Op39 - Indicador de água não medida (%).	28,42%	64,43%
p) Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia).	34,40 l/ramal/dia	74,36 l/ramal/dia.

a) Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento (%).

Pode-se observar na figura 61 que a capacidade de bombeamento no dia de maior consumo energético da cidade 1 estava em um ótimo patamar, próximo do ideal (100%). Já a cidade 2 possui um índice abaixo do esperado, 63,41%. Assim se conclui que a bomba da cidade 2 está trabalhando com baixa eficiência, onde se indica um reparo das tubulações e válvulas e se possível a substituição do motor por um novo.

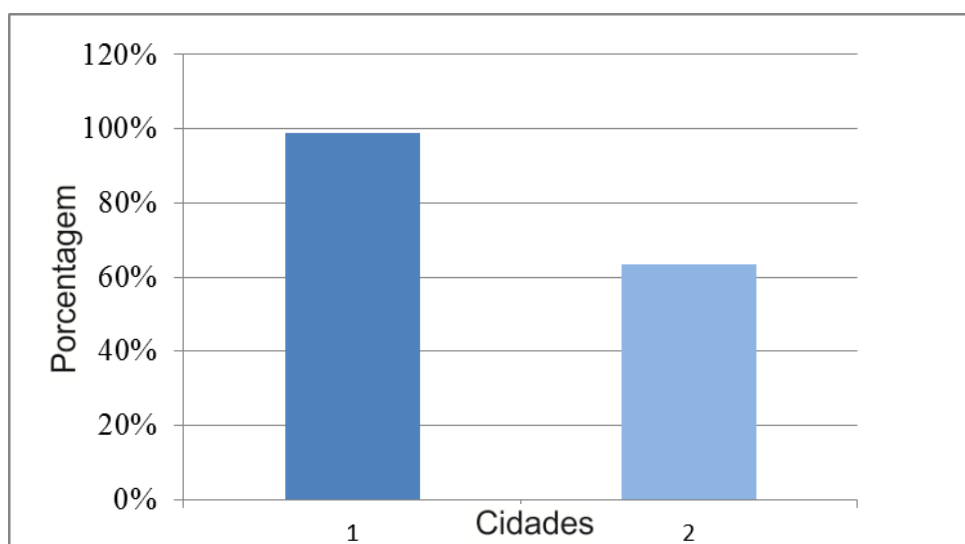


Figura 61 - Utilização da capacidade de bombeamento (%).

b) Ph5 - Consumo de energia normalizada (kWh/m<sup>3</sup>/100m).

Como mostrado, segundo Sabesp (2014), os valores (figura 62) para a cidade 1 encontram em uma faixa considerada muito boa, já a cidade 2 está no limite entre mediana e boa, segundo tabela 19. Assim pode se observar que as duas cidades apresentam boa eficiência energética, relacionada ao consumo de energia normalizada.



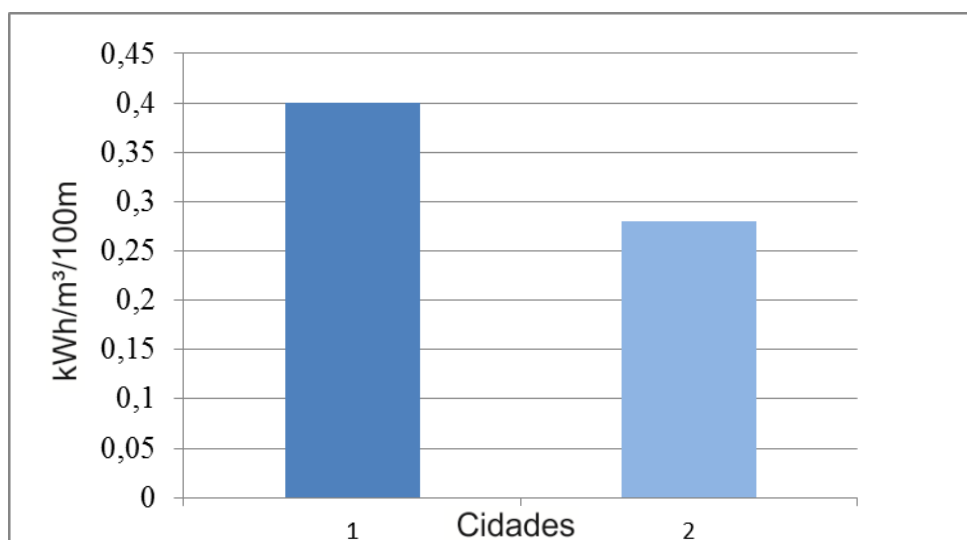


Figura 62 - Consumo de energia normalizada (kWh/m³/100m).

c) Ph6 - Consumo de energia reativa (%).

Se observou na figura 63 que o conjunto moto bomba da cidade 1 possui um consumo elevado de energia reativa, em torno de 30 %, já a cidade 2 possui quase metade desse consumo. O alto consumo de energia reativa da cidade 1 tem relação com a saída das bombas que apresentavam problemas com sua válvula de retenção, que se encontrava quebrada, e assim ocorre estrangulamento e obstrução da passagem de água nesse ponto. Esse problema foi portado aos técnicos de plantão e pode ser resolvido trocando essa válvula. A correção e troca desse componente pode ser paga de maneira relativamente rápida, com a economia dessa energia excessiva gasta.

Segundo Saidur (2009), 80% à 90% da potência é utilizada para realizar trabalho útil, já o restante se utiliza para criar o campo magnético para originar a rotação no motor. Se pode com isso concluir que a cidade 2 está dentro da faixa considerada normal, entre 10 e 20% de consumo com energia reativa.

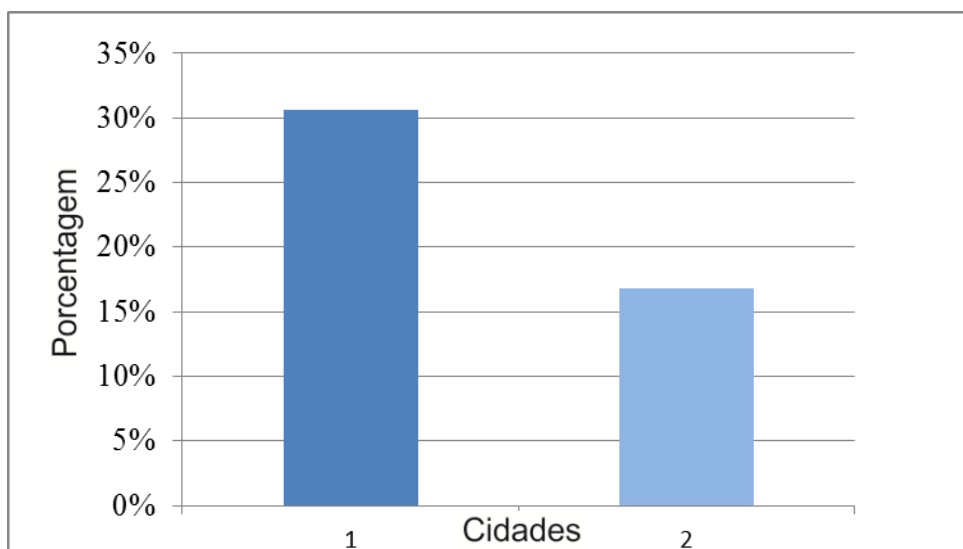


Figura 63 - Consumo de energia reativa (%).

d) Ph8 - Densidade de válvulas ( $n^\circ / \text{km}$ ).

Esse indicador (figura 64) verifica a capacidade de se isolar um setor caso necessite de eventuais intervenções na rede. A cidade 2 está melhor equipada com o dobro de válvulas, por quilometro, em relação a cidade 1.

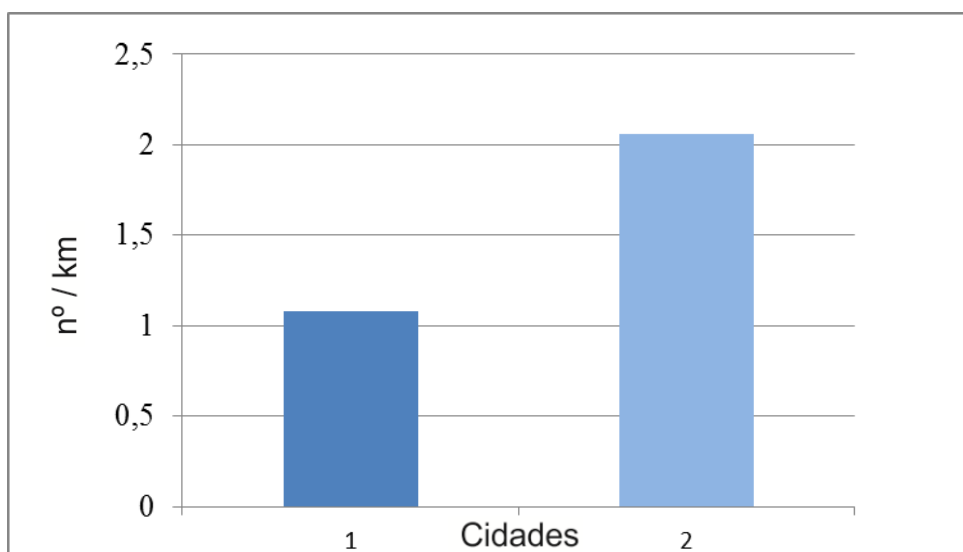


Figura 64 – Densidade de válvulas ( $n^\circ/\text{km}$ ).

e) Ph 14 - Grau de automação (%).

O indicador da figura 65 mostra qual o grau de automação da entidade gestora, onde neste caso ambas as cidades possuem sistemas automáticos de abastecimento, com sensores de nível nos reservatórios, controlados por um painel elétrico.

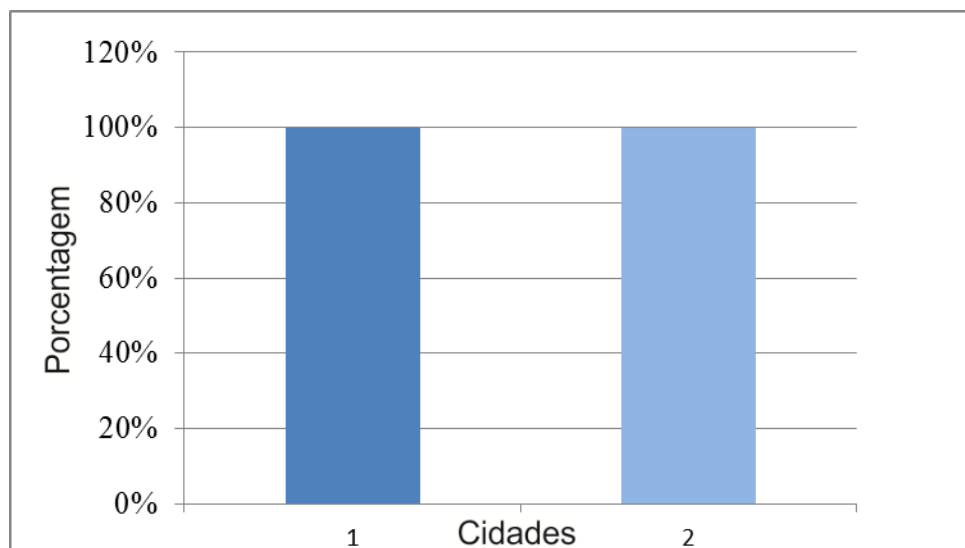


Figura 65 - Grau de automação (%).

f) Ph15 - Grau de controle remoto (%).

Para o indicador Ph15 não se gerou um gráfico pois ambas as cidades não possuem um controle a distância das bombas, nenhum painel controla ou registra, à distância e em tempo real o que acontece na rede, como vazão de entrada e pressões ao longo das tubulações.

g) WR1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)

O indicador de ineficiência mostra como os recursos hídricos são utilizados. A cidade 1, por apresentar um indicador de perdas bem menor que a cidade 2 (figura 66), possui um índice de ineficiência bem menor, em torno de 28%, quanto a cidade 2 apresenta um elevado grau de ineficiência, em torno de 63%. Com esses valores se pode observar que a cidade 1 possui um indicador próximo da média nacional de 40%, como mostrado por ABES (2014), já

o valor da cidade 2 está muito alto. As grandes perdas existentes ocorrem por causa da grande vazão de entrada do setor e também do elevado patamar de pressão existente (em média 62 mca).

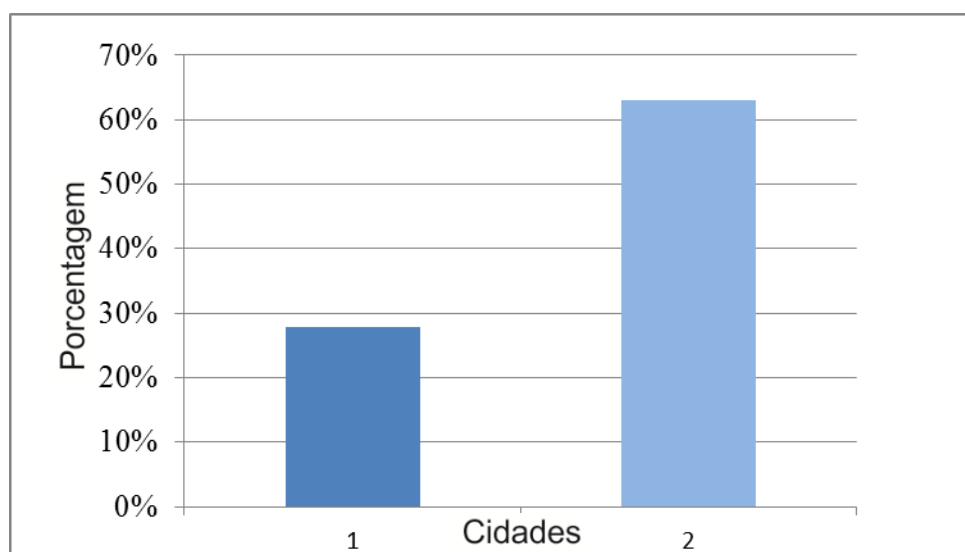


Figura 66 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos.

h) Op23 – Perdas de água por ramal ( $\text{m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$ ).

Pode se visualizar na figura 67 como é grande o grau de perdas da cidade 2, cerca 416  $\text{m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$ , contra apenas 55,90  $\text{m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$  da cidade 1. Esse indicador mostra quantos  $\text{m}^3$  de água são gastos por ramal durante o período de um ano.

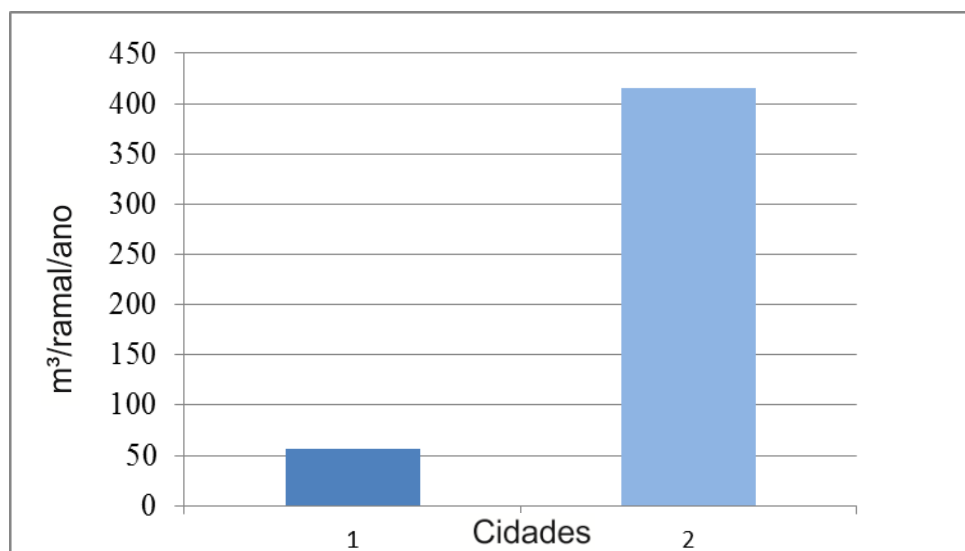


Figura 67 - Perdas de água por ramal ( $\text{m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$ ).

i) Op 24 – Perdas de água por comprimento de conduta ( $\text{m}^3/\text{km}/\text{dia}$ ).

A figura 68 apresenta as perdas por comprimento de conduto, quantos metros cúbicos de água são perdidos em um quilometro de conduto durante um dia. Altos índices de perdas para a cidade 2, como já se previa, foram encontrados. A média nacional de perdas gira em torno de  $7,6 \text{ m}^3/\text{km}/\text{dia}$  (Abes-SP, 2014).

Segundo Alegre (2014) esse indicador se aplica por apresentar uma densidade de ramais maior que 20/Km (neste caso deram 56 ramais por Km).

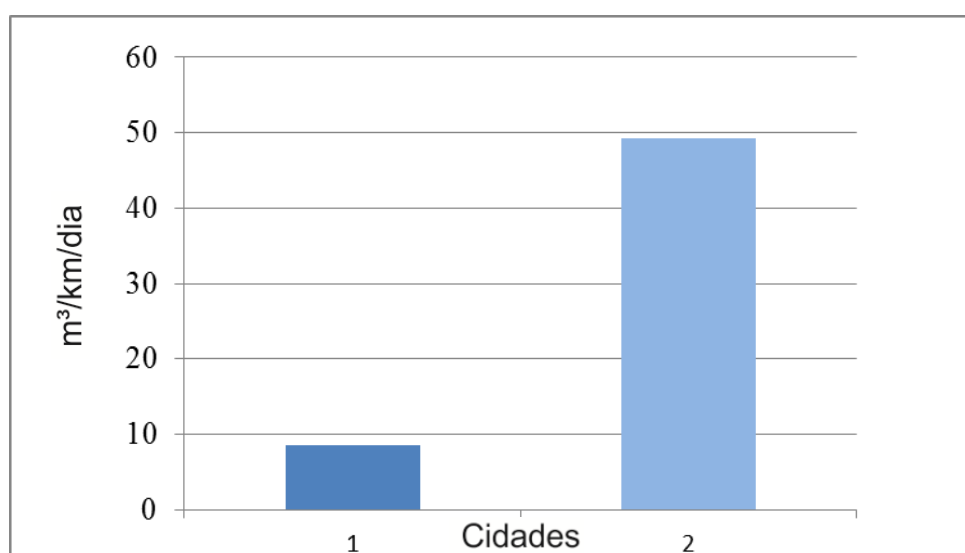


Figura 68 - Perdas de água por comprimento de conduta ( $\text{m}^3/\text{km}/\text{dia}$ ).

j) Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%).

O indicador de perdas aparentes (figura 69) mostra o quanto de água não é devidamente computado nas unidades de consumo, devido principalmente aos erros de leitura e ligações clandestinas. Por apresentar uma elevada pressão média, a cidade 2 apresenta uma perda aparente maior que a cidade 1 em torno de 1,6%.

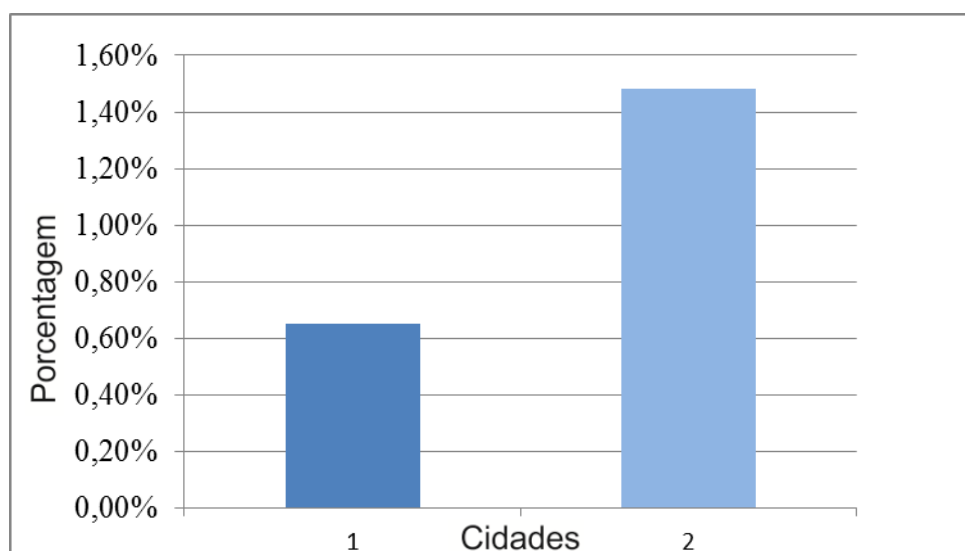


Figura 69 - Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%).

k) Op 27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia).

Na figura 70 foi mostrado como é grande o grau de perdas da cidade 2, cerca 48128,43 l/km conduta/dia, contra apenas 8377,80 l/km de conduto/dia da cidade 1. Esse indicador mostra quantos litros de água são gastos por ramal durante o período de um dia.

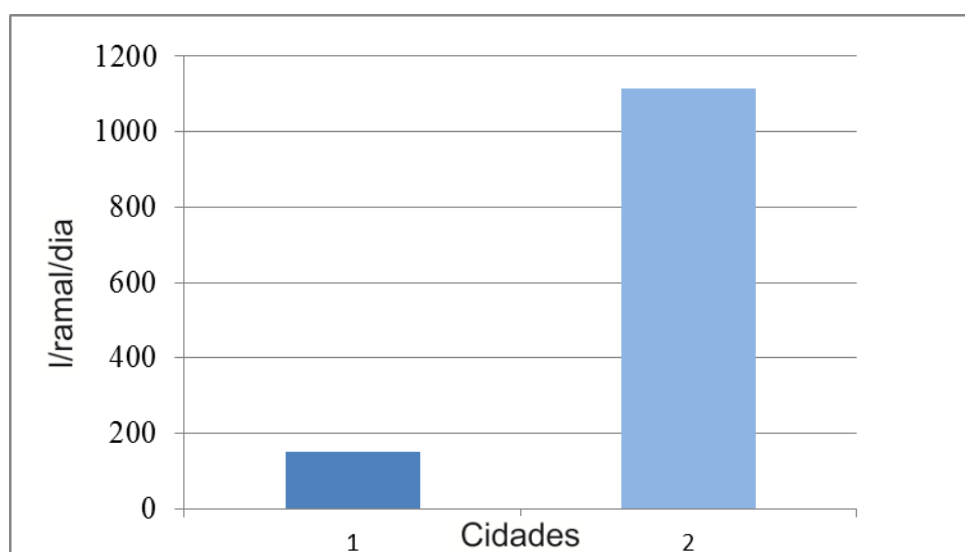


Figura 70 - Perdas reais por ramal (l/ramal/dia).

l) Op 28 – Perdas por comprimento de conduto (l/km de conduto/dia).

Segundo a figura 71, a cidade 2 apresenta uma elevada taxa de perdas por comprimento de conduto (l/ramal/dia). Isso se deve ao elevado grau de pressão existente naquela região. É indicado intervir na rede e instalar válvulas redutoras de pressão e assim tentar diminuir essas perdas significativas.

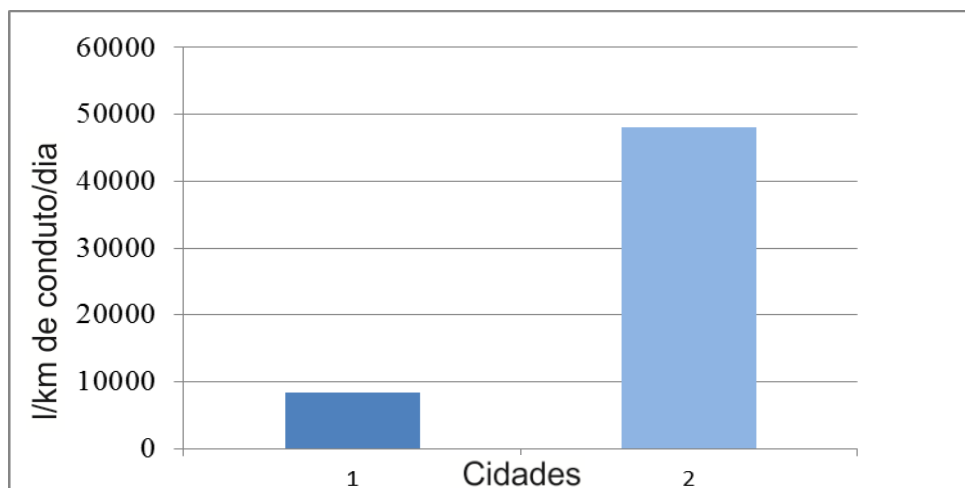


Figura 71 - Perdas por comprimento de conduto.

m) Op29 – Indicador de infraestrutura de fugas (adimensional).

Esse indicador (figura 72) por depender diretamente da pressão média do setor, coloca a cidade 2 com um alto índice de fugas. Sistemas com boa manutenção tendem a apresentar valores próximos de 1.

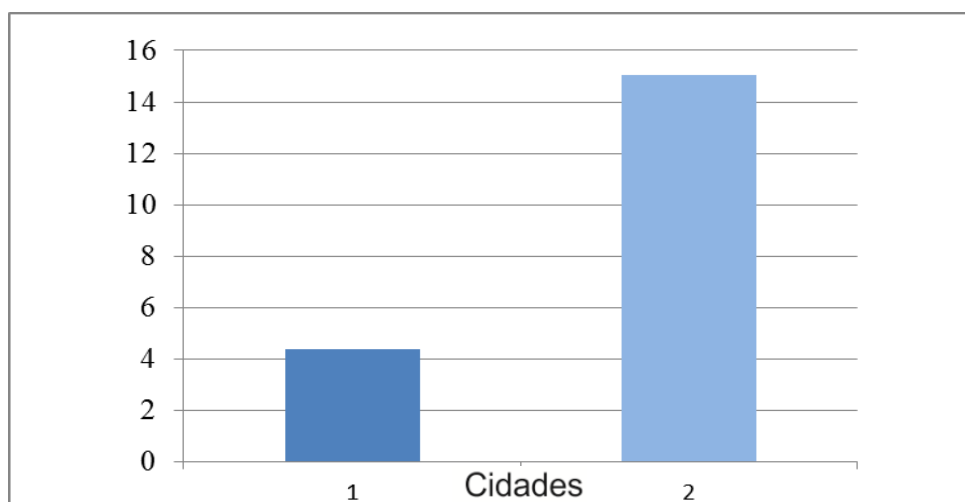


Figura 72 - Indicador de infraestrutura de fugas.

n) Fi46 – Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume (%).

Segundo a ABES (2013) a média no Brasil para perdas nos sistemas de abastecimento de água gira em torno de 40%, incluindo as perdas reais e aparentes, que neste caso, é o mesmo valor da água não faturada em termos de volume. Com esse indicador (figura 73) se concluir que existe um alto índice de perdas no setor da cidade 2, cerca de 64% e um índice abaixo da média para a cidade 1, próximo de 28%.

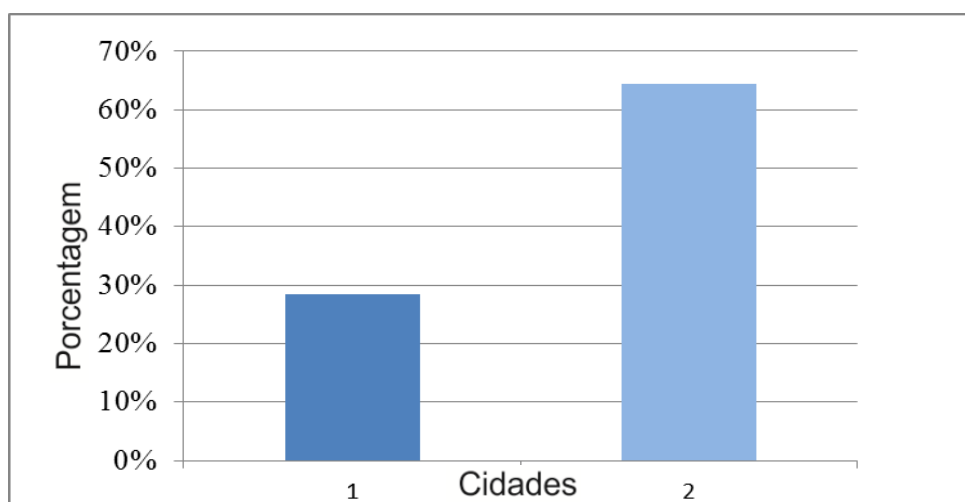


Figura 73 - Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume.

o) Op39 - Indicador de água não medida (%).

O indicador financeiro de água não medida (figura 74) para a cidade 2 ficou em torno de 64% e se encontra acima da média nacional que é de 40% segundo ABES (2013).

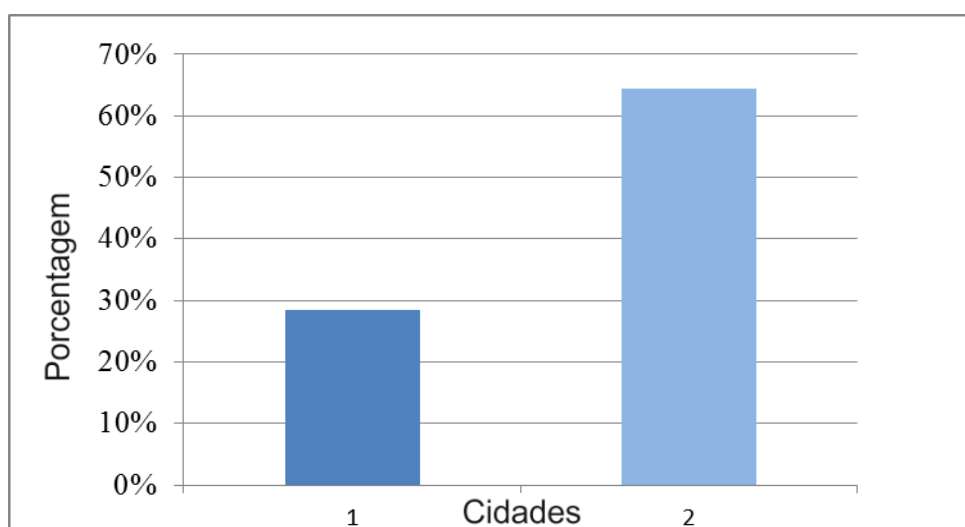


Figura 74 - Indicador de água não medida.



p) Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia).

Os valores da figura 75 estão dentro das faixas encontradas por Alegre (2005), conforme mostra a tabela 30. Quanto maior a quantidade de ramais e maior for a pressão média, maior também será a perda mínima por ramal.

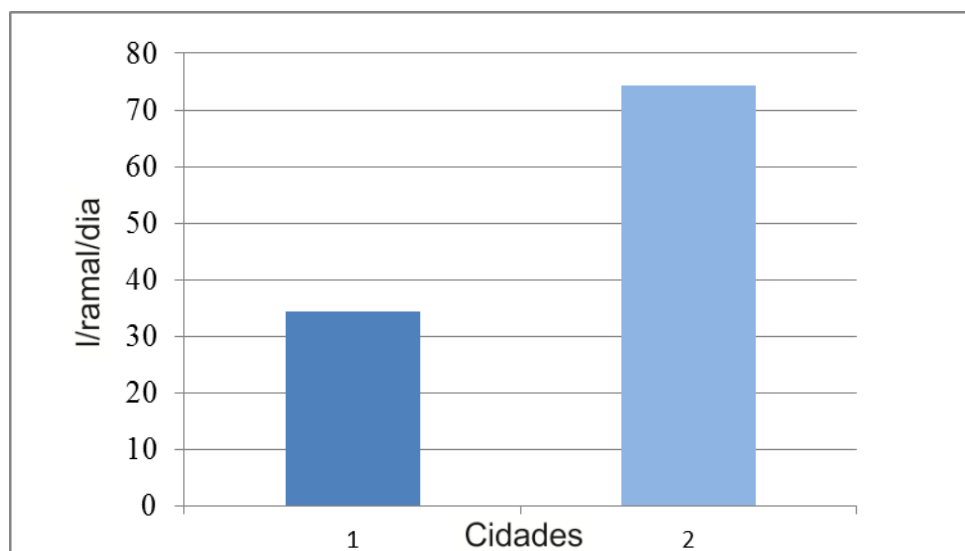


Figura 75 - Indicador de perdas mínimas (l/ramal/dia).

## **6 - Conclusões e recomendações**

Com esses estudos de casos e teses se pode observar que um indicador sozinho não é suficiente para descobrir um problema ou falha na distribuição de água potável. Para se ter uma idéia do desempenho completo do sistema, vários indicadores são calculados, buscando sempre qualidade na aquisição dos dados e das informações obtidas.

### **6.1 - Conclusões**

Foram estudados indicadores de desempenho de redes de abastecimento de água para duas cidades com características distintas. Tais aspectos que as diferem contemplam principalmente as faixas de pressão, as vazão de entrada, o perfil sócio econômico e de maneira secundária, o número de ligações, a população abastecida e os aspectos topográficos.

O trabalho apresenta aspectos operacionais que se referem a energia e as perdas de água das redes de distribuição de duas cidades do sul de Minas Gerais, para análise do comportamento de diferentes sistemas.

Notou-se que em linhas gerais a Cidade 2 apresenta valores de pressão e vazão de entrada superiores aos encontrados para a Cidade 1. Em termos de pressão média, o valor da Cidade 2 é praticamente o dobro da Cidade 1. Consequentemente os parâmetros relacionais as perdas tais como WR1 (Ineficiência na utilização dos recursos hídricos), Op23 (Perdas de água por ramal), Op24 (Perdas de água por comprimento de conduta), Op26 (Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema), Op27 (Perdas reais por ramal), Op28 (Perdas por comprimento de conduto), Op29 (Indicador de infra estrutura de fugas), Op39 (Indicador de água não medida) e Fi46 (Indicador financeiro de água não faturada em termos de volume) foram afetados e indicam estas diferenças.

Conforme apresentado nos resultados, o indicador de perdas mínimas por ramal teve como resultado 74,36 l/ramal/dia para a cidade 2 e 34,40 l/ramal/dia para a cidade 1.

Observou-se que a densidade de registros na cidade 2 é superior a cidade 1, possivelmente demonstrando o esforço operacioanal para conter estas perdas.

O grau de automação e controle remoto é o mesmo para ambas as redes. Existe a possibilidade de ampliar seu controle remoto e deixar o sistema mais automático.

Com relação aos indicadores de energia analisados observou-se para a cidade 1 possui um consumo específico maior de energia, que pode ser explicado por um problema operacional da bomba e sua válvula de retenção existentes.

Apesar dos problemas listados, a cidade 1 é mais eficiente na utilização dos recursos hídricos e perde menos água, seja lá qual for a forma de avaliação das perdas.

## **6.2 – Recomendações**

Vale a pena salientar que os métodos aplicados foram baseados em conceitos clássico da literatura e as informações necessárias para os cálculos foram obtidas dentro da disponibilidade das companhias de saneamento estudadas. Estes aspectos pode naturalmente interferir nos resultados.

Para futuros trabalhos recomenda-se:

- Repetir a metodologia com o uso de uma maior quantidade de dados de campo e da companhia de abastecimento de água. Efetuar essas medições durante um maior tempo, para evitar possíveis falhas na interpretação, como indicado por Alegre et al. (2004);
- Calcular novos indicadores representativos baseado em dados obtidos;
- Como existe um número muito grande de indicadores na literatura, poderiam ser prospectados outros e aplicados com as informações existentes.

## 7 – Referências

ABES -SP – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2010), **“Tendências Globais em Redes de Água, Perdas de Água e Gestão de Ativos.”** Disponível em : <[http://abes-sp.org.br/arquivos/3%20ABES%20ARCADIS%20Networks%20July%202014\\_PORT%20rev.pdf](http://abes-sp.org.br/arquivos/3%20ABES%20ARCADIS%20Networks%20July%202014_PORT%20rev.pdf)> Acesso em 23 de junho de 2016.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2013), **“Perdas em sistemas de abastecimento de água: Diagnóstico, potencial de Ganhos com sua redução e propostas de medidas para o Efetivo combate.”** Disponível em : < <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf> > Acesso em 01 de junho de 2016.

Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M. e Parena, R. (2004). **“Indicadore de desempenho para serviços de abastecimento de água”** – IWA (série guias técnicos).

AMAES (2013). **Agência Municipal de Regulação dos Serviços Públicos de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário.**

Andrade A. S. (2010), **“ Associação de bombas centrífugas”** <[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA\\_MH/AT087-Aula06\\_ASSOC.PARALELO.PDF](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/AT087-Aula06_ASSOC.PARALELO.PDF)> Acesso em 23 de janeiro de 2016.

Andrade M. R. **“Balanço hidroenergético de sistema de distribuição de água aplicado a um setor do município de Cambuí – MG”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2016.

Castro, L. A., Baptista, M. B. e Barraud, S. (2009). **“Sistemática de Validação de Indicadores para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água por meio de Análise Crítica”**. RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 14 n.4 Out/Dez 2009, 103-112.

Fortes, L. (2016). “**Balanco hidroenergético de sistema de distribuição de água aplicado a um setor do município de São Lourenço – MG**”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de energia) – UNIFEI-MG, 2016.

Goulart, T. D. C.(2015). “**Estudos de Aprimoramento de Modelo de Calibração Empregando Algoritmo Genético e Aplicação em Rede de Distribuição de Água de Cambuí (MG)** “. UNIFEI-MG, 2015.

Hernández, E.; Pardo, M.A.; Cabrera, E.; Cobacho, R.. Energy assessment of water networks, a case study. **Water Distribution System Analysis**. Tucson, Arizona, EUA. Setembro, 2010.

Junior, A. P. M., Netto, O. M. C. e Nascimento, N. O. (2003). “**RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**”. Volume 8 n.4 Out/Dez 2003, 49-67.

Lamoglia, H., “**Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço – MG**”. 2013. 238 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UNIFEI-MG, 2013.

Ministério das Cidade, IBGE e Ministério do planejamento, orçamento e gestão (2008). “**Pesquisa nacional de saneamento básico**”.

Ministério das Cidades e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2011). “**Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**” SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

Morais, M. C. R. e Cartaxo, E. F. (2010) “**Indicadores de perdas no sistema de abastecimento de água de Rio Branco-AC**”. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Sabesp (2014). **“Eficiência Energética e Gestão de Energia na Sabesp”**. <[www2.fiescnet.com.br/web/recursos/VUVSR05EZzRNQT09](http://www2.fiescnet.com.br/web/recursos/VUVSR05EZzRNQT09)> Acesso em 23 de junho de 2016.

Saidur, R. (2010) **“A review on electrical motors energy use and energy savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews”**. pág. 877–898.

Santos, J. (2016). **“Estudo de Modelo de Calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda vazamento visando eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço – MG”**. UNIFEI-MG, 2016.

Silva, N. A. S. e Júnior, E. L. (1999). **“Indicadores de gestão para sistemas de abastecimento de água”**. UNICAMP-SP, 1999.

Vicentini, L. P. **“Componente do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água”**. Dissertação de mestrado. USP-SP, 2012.

Vilanova, M. R. N. **“Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões”**. 2012. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.