LILIANA PEDROSO VICENTINI

COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

São Paulo
2012

LILIANA PEDROSO VICENTINI

COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

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

Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica

Orientador:
Prof. Dr. Renato Carlos Zambon

São Paulo
2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 15 de outubro de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Vicentini, Liliana Pedroso
Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água / L.P. Vicentini. – ed.rev. -- São Paulo, 2012.
196 p.

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

1.Perdas de água 2.Balanço hídrico 3.Abastecimento de água I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental II.t.

DEDICATÓRIA

“A minha família, pelo amor e compreensão em todos os momentos da minha vida...”

“Aos meus amigos pelo apoio e incentivo dessa jornada...”

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Renato Carlos Zambon, pela orientação, análise cuidadosa e valorosa contribuição técnica.

Ao Professores Doutores Milton Tomoyuki Tsutiya (in memorian) e Pedro Além Sobrinho pelo voto de confiança que tornaram possível este trabalho.

Aos Professores Doutores Kamel Zahed Filho e Alberto Luiz Francato pelas análises e recomendações.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelos conhecimentos transmitidos no curso.

Aos colegas de mestrado pelo convívio e troca de experiências.

Aos amigos da SABESP que transmitiram conceitos e técnicas que foram de extrema valia no desenvolvimento deste estudo. Em especial, meus agradecimentos aos amigos Antônio Simões Teixeira Filho, Carlos Alberto Apparecido, Daniel Marques Corrêa, Cahuê Rando Carolino, Cícero Ferreira Batista, Débora Soares Melato, Fábio Luiz Denápoli, Jairo Tardelli Filho, Francisco José F. Paracampos, Hilton Alexandre de Oliveira, Jose Ricardo Bueno Galvão, Marcos Aurélio Martins, Maria Silvia P. Oliveira, Natally Annunciato Siqueira, Paulo Rogério Palo, Ronaldo Darcy Pardini, Rosa Cintia Bongianni, Viviane Ramon Castelo Branco, e aos demais funcionários da Unidade de Negócio Centro que muito contribuíram em cada estágio deste aprendizado.

A minha família e aos queridos amigos por me incentivarem a transpor mais uma etapa em meu desenvolvimento profissional.

“A água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão, é plenamente responsável aos olhos de todos.”

(Declaração Universal do Direito da Água – ONU)

RESUMO

O presente trabalho aborda os conceitos que envolvem as perdas no sistema de distribuição de água e os diferentes indicadores de perdas existentes, utilizados como um dos principais instrumentos de apoio à gestão nos sistemas de abastecimentos de água.

A revisão bibliográfica apresenta histórico dos trabalhos referentes ao controle e redução de perdas que tem sido desenvolvidos no Brasil e em outros países. Mostra a diversidade de indicadores de perdas existentes e os estudos e discussões incessantes na busca de sua padronização, coordenados pela *International Water Association* (IWA). Também trata de importantes questões relativas ao tema da dissertação, tais como: a elaboração do Balanço Hídrico e os limites de incertezas de suas variáveis; e as iniciativas existentes ao redor do mundo relacionadas ao uso eficiente de energia e sua interface entre a redução de perdas em sistemas de abastecimento de água.

Na segunda etapa do trabalho, foram elaborados passo a passo os Balanços Hídricos de três setores de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) com características distintas entre si. Em razão da dificuldade de medições de alguns volumes de entrada dos Balanços Hídricos, recorreu-se à alternativa de calculá-los através de estimativas, cujos valores padrões foram pesquisados na bibliografia existente. Devido a isso, os fluxos dos Balanços Hídricos estudados apresentaram faixas de valores, retratando os limites de incertezas a que eles estão submetidos. Compararam-se os Balanços Hídricos dos três setores de abastecimento, avaliando-se suas incertezas, analisando-se seus resultados e recomendando-se onde podem ser direcionadas as ações para o controle e redução, sejam para as perdas reais, sejam para as perdas aparentes.

Por fim, ressalta-se que por se tratar de tema correlacionado às dissertações desenvolvidas por Galvão (2007), Melato (2010), Oliveira (2011) e Palo (2010), este estudo serve, portanto, como uma continuidade desses trabalhos.

Palavras-chave: Perdas de água. Balanço hídrico. Abastecimento de água.

ABSTRACT

This project has the purpose of treat the conceptions involving losses in water distribution systems and different performance indicators, used as a major instrument of management support systems in water supplies.

Bibliographic review presents a historic of the works on the control and reduction of water losses that have been developed in Brazil and other countries. It shows the diversity of existing indicators of water losses and incessant studies and discussions in the search for its standardization, coordinated by the International Water Association (IWA). It also deals with important issues related to the subject of the dissertation, such as the elaboration of the water balance and the limits of uncertainty of its variables, and the existing initiatives around the world related to the energy efficiency and its interface with the reduction of losses in water supply systems.

In the second stage of the work, the Water Balances of three different supply sectors of the Metropolitan Region of São Paulo were developed step by step. Because of the difficulty of measurements of some volumes of incoming Water Balance, one resorted to the alternative of calculating them through estimates, whose default values were researched in existing literature. Due to this, the flow of Water Balance study showed ranges of values, depicting the limits of uncertainty to which they are submitted. The Water Balance of three supply sectors were compared, evaluating their uncertainties, analyzing their results and recommending where actions should be directed to the control and reduction whether they are real or apparent losses.

It is important to say that since it is correlated themes to dissertations developed by Galvão (2007), Melato (2010), Oliveira (2011) and Palo (2010), will represent, therefore, as continuity to their works.

Keywords: Water loss. Water balance. Water supply.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Mananciais da RMSP. Fonte: PARACAMPOS (2008). 24

Figura 3.1 - Exemplo de um sistema de abastecimento de água . Fonte: SABESP (2003). 29

Figura 3.2 – Represa Billings e Guarapiranga. (Fonte: acervo pessoal Zambon). 30

Figura 3.3 - Captação flutuante na represa Billings - Braço Taquacetuba. (Fonte: Sabesp). 31

Figura 3.4 – Estação elevatória de água Vila Bela. (Fonte: Sabesp). 32

Figura 3.5 - Configuração típica de um sistema público de abastecimento de água. Fonte: PROSAB (2009). 32

Figura 3.6– Adutora do Rio Claro. (Fonte: Sabesp). 33

Figura 3.7 – Estação de tratamento de água. (Fonte: Sabesp).....34

Figura 3.8 – Reservatório apoiado Jardim da Conquista. (Fonte: Sabesp). 35

Figura 3.9 – Reservatório elevado Vila Mariana. (Fonte: Sabesp). 35

Figura 3.10 – Reservatório semi-enterrado Sacoma ZM. (Fonte: Sabesp). 35

Figura 3.11 – Cadastro de redes de distribuição. (Fonte: Sabesp). 36

Figura 3.12 – Curva característica do hidrômetro. Fonte: Adaptado de CASTRO (2004). 59

Figura 3.13 – Classes metrológicas A, B, C, D (N < 15). Fonte: Adaptado de CASTRO (2004). 61

Figura 3.14 – Tipos de vazamento em rede e ramal. Fonte: LAMBERT; THORTON (2002). 64

Figura 3.15 - Componentes do controle de perdas reais. Fonte: LAMBERT; THORTON (2002). 67

Figura 3.16 – Haste de escuta. (Fonte: Sabesp). 68

Figura 3.17 – Pesquisa de vazamento com haste de escuta. (Fonte: Sabesp).....68

Figura 3.18 - Geofone eletrônico. (Fonte: Sabesp). 69

Figura 3.19 - Pesquisa de vazamento com geofone eletrônico. (Fonte: Sabesp). 69

Figura 3.20 - Geofone Mecânico. (Fonte: Sabesp). 69

Figura 3.21 - Correlacionador de ruídos. (Fonte: Sabesp). 70

Figura 3.22 - Correlacionador de ruídos. (Fonte: Sabesp). 70

Figura 3.23 - Barra de perfuração. (Fonte: Sabesp).....71

Figura 3.24 - Manômetro. (Fonte: Sabesp). 71

Figura 3.25 - Trena ou roda de medição. (Fonte: Sabesp).....71

Figura 3.26 - Detector de massa metálica. (Fonte: Sabesp). 71

Figura 3.27 – Reparo de vazamento. (Fonte: Sabesp).....73

Figura 3.28 – Reparo de vazamento. (Fonte: Sabesp).....73

Figura 3.29 – Válvula redutora de pressão. (Fonte: Sabesp). 75

Figura 3.30 – Área de influência de VRPs e Boosters na RMSP. Fonte: Sabesp(2011).....76

Figura 3.31 - *Booster*. (Fonte: Sabesp). 77

Figura 3.32 - Componentes do controle de perdas aparentes. Fonte: LAMBERT; THORTON (2002). 81

Figura 3.33 – Troca de hidrômetro. (Fonte: Sabesp). 83

Figura 3.34 – Hidrômetro na posição normal e na posição inclinada. (Fonte: Sabesp). 84

Figura 3.35 – Hidrômetro adulterado. (Fonte: Sabesp). 85

Figura 3.36 – Evolução do consumo de energia no Brasil. Fonte: ONS (2011). 106

Figura 4.1 – Limites da área do setor de abastecimento, sem *layers*. 117

Figura 4.2 – Limites da área do setor de abastecimento, com *layer* de redes de distribuição. 117

Figura 4.3 – Limites da área do setor de abastecimento, com *layer* imagem de satélite. 118

Figura 5.1 – Área de Influência da Diretoria Metropolitana da Sabesp. Fonte: SABESP (2011). 130

Figura 5.2 – Limites dos Setores Paulista, Sacomã e Vila Alpina. (Fonte: Sabesp) 131

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tabulação de dados de vazão ao longo do tempo. 54

Tabela 3.2 – Classificação dos medidores de água de acordo com os valores qmín e qt (m3/h) 60

Tabela 3.3 – Classificação dos medidores de água para medidores N 1,5; N 2,5 e N 3,5 (m^3/h). Fonte: CASTRO (2004) 60

Tabela 3.4 – Matriz do Balanço Hídrico.....93

Tabela 3.5 – Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, ano de referência 2009. 107

Tabela 4.1 – Matriz do Balanço Hídrico.....120

Tabela 4.2 – Volumes macromedidos, incertezas, desvio padrão e variância 122

Tabela 4.3 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros 127

Tabela 5.1 – Características dos Setores de Abastecimento. 131

Tabela 5.2 - Pontos de medições e volumes macromedidos do setor Paulista (2009) 139

Tabela 5.3 - Pontos de medições e volumes macromedidos do setor Paulista (2010) 140

Tabela 5.4 – Volumes macromedidos, incertezas, desvio padrão e variância do setor Paulista (2009) 140

Tabela 5.5 - Volumes macromedidos, incertezas, desvio padrão e variância do setor Paulista (2010) 141

Tabela 5.6 – Volume micromedido do setor Paulista (2009). 143

Tabela 5.7 – Volume micromedido do setor Paulista (2010) 143

Tabela 5.8 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Paulista (2009) 150

Tabela 5.9 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Paulista (2010) 150

Tabela 5.10 – Balanço hídrico do setor Paulista (2009): volume em 10^3 m^3/ano....153

Tabela 5.11 – Balanço hídrico do setor Paulista (2010): volume em 10^3 m^3/ano....154

Tabela 5.12 – Ponto de medição e volume macromedido do setor Sacomã (2009) 155

Tabela 5.13 - Ponto de medição e volume macromedido do setor Sacomã (2010) 155

Tabela 5.14 – Volume micromedido do setor Sacomã (2009).....157

Tabela 5.15 – Volume micromedido do setor Sacomã (2010).....157

Tabela 5.16 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Sacomã (2009).....164

Tabela 5.17 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Sacomã (2010).....164

Tabela 5.18 – Balanço hídrico do setor Sacomã (2009): volume em 10^3 m^3/ano ...167

Tabela 5.19 – Balanço hídrico do setor Sacomã (2010): volume em 10^3 m^3/ano ...168

Tabela 5.20 – Ponto de medição e volume macromedido do setor Vila Alpina (2009) 169

Tabela 5.21 - Ponto de medição e volume macromedido do setor Vila Alpina (2010) 169

Tabela 5.22 – Volume micromedido do setor Vila Alpina (2009).....171

Tabela 5.23 – Volume micromedido do setor Vila Alpina (2010).....171

Tabela 5.24 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Vila Alpina (2009).....178

Tabela 5.25 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Vila Alpina (2010).....178

Tabela 5.26 – Balanço hídrico do setor Vila Alpina (2009): volume em 10^3 m^3/ano 181

Tabela 5.27 – Balanço hídrico do setor Vila Alpina (2010): volume em 10^3 m^3/ano 182

Tabela 5.28 – Balanços hídricos dos setores (2009): em volume e em porcentagem 183

Tabela 5.29 – Balanços hídricos dos setores (2010): volume em 10^3 m^3/ano 183

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENDE	Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABV	Alto da Boa Vista
AC	Antes de Cristo
AESBE	Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
ASSEMAE	Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento
AWWA	American Water Works Association
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
DMC	Distrito de Medição e Controle
DTA	Documentos Técnicos de Apoio
ETA	Estação de Tratamento de Água
EMBASA	Empresa Brasileira de Água e Saneamento
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA	International Water Association
LYSA	Lyonnaise Des Eaux Services Associés

MC	Unidade de Negócio Centro da Diretoria Metropolitana
MPO	Ministério do Planejamento e Orçamento
NBR	Norma Brasileira
ONG	Organização Não Governamental
PECOP	Plano Estadual de Controle de Perdas
PEDOP	Programa de Controle e Desenvolvimento da Operação
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento
SEMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SEPURB	Secretaria de Política Urbana
SNSA	Sistema Nacional de Saneamento Ambiental
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento
VRP	Válvula Redutora de Pressão
UN	Unidade de Negócio

LISTA DE SÍMBOLOS

IIE	Índice Infraestrutural de perdas
ILI	*Infrastructure Leakage Index*
IP	Indicador Percentual
IPER	Índice de perdas por extensão de rede
IPR	Índice de perdas por ramal
K	Constante do medidor
Lm	Comprimento de rede
Lp	Extensão entre a testada do imóvel e o hidrômetro
Nc	Número de ramais
P	Pressão média de operação
ΔP	Diferencial de pressão
Q	Vazão
q_s	Vazão de sobrecarga
q_p	Vazão permanente
q_{min}	Vazão mínima
q_m	Vazão mínima
q_t	Vazão de transição
T	Percentual do ano em que o sistema está pressurizado

APRESENTAÇÃO

Liliana Pedroso Vicentini, a autora, formou-se em engenharia civil pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Trabalha desde 1997 na Unidade de Negócio Centro da Diretoria Metropolitana da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Atualmente desenvolve atividades de planejamento, além de atuar em trabalhos relativos aos planos regionais de perdas em setores de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo.

Devido aos grandes desafios que muitas operadoras de serviços públicos de água tem enfrentado com elevados níveis de perdas de água, pretende, com este estudo, chamar a atenção para a importância da confiabilidade do balanço hídrico para o cálculo de perdas em setores de abastecimento de água e indicar onde estão os limites de incertezas relativos aos fluxos que o compõem.

Espera, portanto, contribuir à alta gestão e aos técnicos na adoção de melhores práticas para tomada de decisões e direcionamento dos investimentos nas ações para o controle e redução de perdas nas companhias de saneamento básico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 23

2 OBJETIVOS 27

3 FUNDAMENTOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 28

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA 28

3.1.1 Definições 28

3.1.2 Setor de abastecimento 36

3.2 HISTÓRICO 38

3.3 COMPONENTES DAS PERDAS DE ÁGUA 45

3.3.1 Perda física 46

3.3.2 Perda não física 46

3.4 MACROMEDIDORES 47

3.4.1 Calibração de macromedidores 49

3.4.1.1 Calibração de medidores de vazão deprimogêneos 49

3.4.1.2 Aferição em campo de macromedidores velocimétricos 51

3.4.1.3 Aferição de macromedidores magnéticos 55

3.5 MICROMEDIDORES 55

3.5.1 Características metrológicas 57

3.6 PRINCIPAIS CAUSAS DAS PERDAS 62

3.6.1 Perdas reais 62

3.6.2 Perdas aparentes 64

3.7 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS REAIS 67

3.7.1 Controle e detecção de vazamentos 67

3.7.2 Vazamentos em reservatórios 72

3.7.3 Agilidade e qualidade dos reparos 72

3.7.4 Controle de pressão 74

3.7.5 Setorização 74

3.7.6 Válvulas redutoras de pressão (VRPs) 75

3.7.7 Boosters 77

3.7.8 Gerenciamento da infraestrutura 78

3.8 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS APARENTES 81

3.8.1 Incertezas de medição 81

3.8.2 Combate a fraudes 84

3.8.3 Melhoria do cadastro comercial 85

3.8.4 Qualificação da mão-de-obra 86

3.9 INDICADORES DE PERDAS 86

3.9.1 Índice percentual 87

3.9.2 Índice de perdas por ramal 88

3.9.3 Índice de perdas por extensão de rede 89

3.9.4 Índice infraestrutural de perdas 89

3.10 BALANÇO HÍDRICO 91

3.10.1 Água que entra no sistema 95

3.10.2 Consumo autorizado 95

3.10.3 Perdas de água 96

3.10.4 Consumo autorizado faturado 96

3.10.5 Consumo autorizado não-faturado 96

3.10.6 Perdas aparentes 97

3.10.7 Perdas reais 97

3.10.8 Consumo faturado medido (inclui água importada) 98

3.10.9 Consumo faturado não-medido (estimados).....98

3.10.10 Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) ..99

3.10.11 Consumo não-faturado não-medido (combate a incêndio, favelas) 99

3.10.12 Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro).....100

3.10.13 Incertezas de medição (macro e micromedição).....101

3.10.14 Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) 102

3.10.15 Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição.....102

3.10.16 Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios.....103

3.10.17 Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) 103

3.10.18 Água faturada.....104

3.10.19 Água não-faturada.....104

3.11 REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 105

3.12 ERROS E INCERTEZAS DE MEDIÇÕES 111

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....115

4.1 METODOLOGIA 115

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....129

5.1 ESTUDO DE CASO 129

5.1.1 Caracterização Geral.....129

5.1.1.1 Setor Paulista 132

5.1.1.2 Setor Sacomã.....134

5.1.1.3 Setor Vila Alpina 136

5.1.2 Construção do Balanço Hídrico 139

5.1.2.1 Setor Paulista 139

5.1.2.2 Setor Sacomã 155

5.1.2.3 Setor Vila Alpina 169

5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 183

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 187

1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) está localizada numa região de planalto que varia entre 730 m e 850 m acima do nível do mar. Abrange uma área de 8.051 km² e encontra-se quase toda inserida na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. O território dessa bacia, com área de drenagem de 5.985 km², engloba praticamente toda a população da referida região metropolitana de aproximadamente 20 milhões de habitantes, representando cerca de 10,4% da população do país e 48% do Estado de São Paulo, concentrada em apenas 2,4% da área desse estado, correspondendo a uma densidade demográfica de 2.479,6 hab/km².

Devido à desmedida concentração urbana e da disponibilidade hídrica escassa, agravada por problemas de poluição e contaminação dos mananciais, pode-se dizer que grande parte dos questionamentos e conflitos pelo uso da água na RMSP concentra-se na Bacia do Alto Tietê.

Atualmente, a demanda total de água da região é bem superior à produção hídrica da Bacia do Alto Tietê. Para sustentar o abastecimento de água, a RMSP é suprida em cerca de 55 por cento pelos mananciais existentes na própria Bacia do Alto Tietê e importa de outras bacias 45 por cento da água fornecida aos 20 milhões de habitantes nos seus 39 municípios (Figura 1.1).

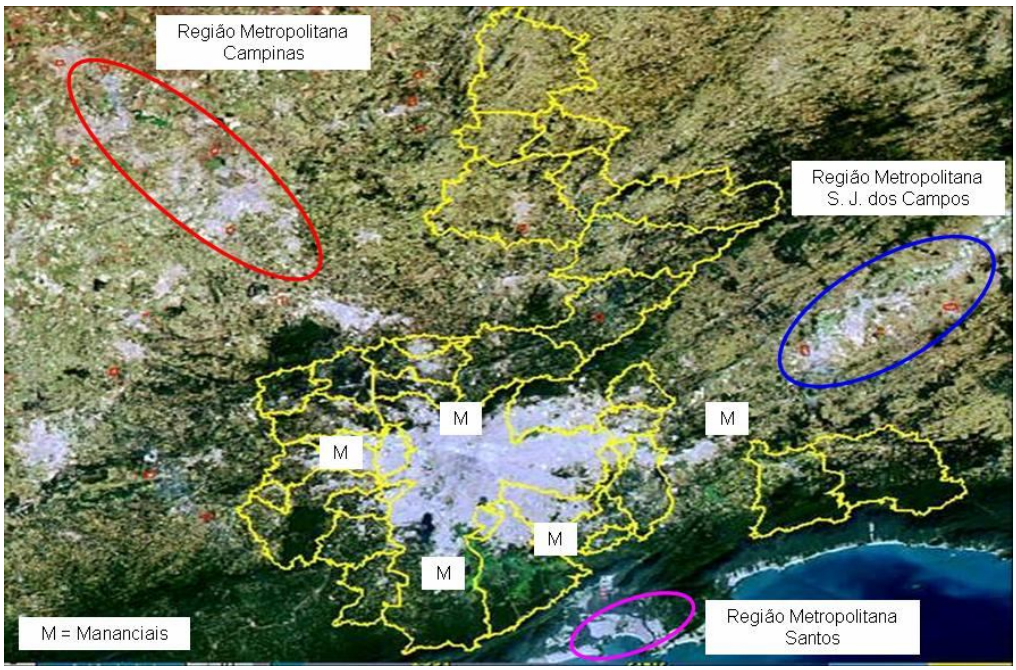

Figura 1.1 – Mananciais da RMSP. Fonte: PARACAMPOS (2008).

Diante desses fatos, a situação do abastecimento de água da RMSP se apresenta como extremamente complexa. Por isso, devido à importância da conservação e sustentabilidade dos recursos hídricos e das dificuldades de operação e expansão do sistema, um equilíbrio entre todas as variáveis e a definição de diversos planos e programas se fazem necessários.

É de fundamental importância que esses planos e programas sejam os principais instrumentos na gestão da demanda, como forma de postergar as ações necessárias à expansão de oferta, que seria feita, principalmente, através de futuras reversões (BANCO MUNDIAL, 2003).

Visando o uso eficiente da água, a gestão da demanda deve ocorrer através do desenvolvimento de programas de conservação da água, dentre os quais se destacam programas de reuso, programas de educação para a utilização racional, desenvolvimento de novas ferramentas para a economia de água em tarefas domésticas e por fim um robusto programa de controle de perdas de água (PARACAMPOS, 2008)

Num sistema de abastecimento de água, desde a captação do manancial até a entrega da água tratada ao consumidor final ocorrem perdas, de vários tipos, que

em grande parte são causadas por operação e manutenção deficientes nas tubulações e inadequada gestão comercial das companhias de saneamento. Por isso, a vinculação entre o nível de perdas em uma companhia de saneamento e sua eficiência operacional é total, ou seja, é de se esperar que os sistemas de abastecimento bem gerenciados e mantidos possuam baixos índices de perdas (TARDELLI FILHO, 2006).

As perdas de água de um sistema de abastecimento podem ser determinadas pelo cálculo do Balanço Hídrico, onde, através de uma matriz proposta pela IWA, são apresentadas as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos da água no sistema.

O Balanço Hídrico, melhor detalhado em capítulo mais adiante, é constituído pelos seguintes componentes: (i) água que entra no sistema: volume anual introduzido no sistema de abastecimento ou parte dele, (ii) consumo autorizado: volume anual medido e/ou não medido fornecido a consumidores cadastrados, à própria operadora e a outros que estejam autorizados a fazê-lo, para usos domésticos, comerciais ou industriais, (iii) perdas de água: diferença entre o volume de água que entra no sistema e os consumos autorizados, (iv) consumo autorizado faturado: volumes constantes nas contas emitidas aos consumidores, correspondentes aos volumes medidos nos hidrômetros e dos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados, (v) consumo autorizado não-faturado: volume que não gera receita para a companhia, originado de usos legais de água no sistema de distribuição. Compõe-se de volumes medidos (usos administrativos das companhias) e volumes não-medidos que são estimados (combate a incêndio, lavagem de ruas, rega de jardins públicos e usos operacionais da operadora), (vi) perdas aparentes: volumes consumidos, porém não contabilizados e referem-se aos erros de medição, fraudes e falhas no cadastro comercial, (vii) perdas reais: volumes perdido através de vazamentos nas tubulações, conexões, equipamentos, vazamentos e extravasamentos nos reservatórios, (viii) águas faturadas: refere-se à parcela da água entregue ao consumidor e faturada, (ix) águas não-faturadas: correspondem à diferença anualizada entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado não-faturado.

Tendo em vista que alguns componentes são medidos, alguns estimados e alguns calculados em função dos primeiros, eles estão constantemente sujeitos a diversas incertezas. Devido a isso, é de extrema importância se ter o bom conhecimento da parcela de cada um deles para que se possam direcionar e priorizar, de forma mais eficiente, os esforços e investimentos necessários para o seu controle e redução.

As perdas em um sistema de abastecimento de água estão fortemente associadas à qualidade da operação e da infraestrutura da rede de distribuição ou de adução e é um dos principais indicadores de desempenho operacional das empresas de saneamento em todo mundo.

A implementação das atividades de controle e redução de perdas nas diversas companhias de saneamento ressalta a necessidade da utilização de ferramentas para avaliação das perdas nos sistemas de abastecimento de água, que possam gerar diversos indicadores de desempenho, permitindo comparações, planejamento e avaliação de resultados, além de se estabelecer a metodologia para avaliação da confiabilidade dos indicadores.

A proposta deste projeto é de abordar os diversos conceitos sobre perdas num sistema de distribuição de água, com ênfase aos indicadores de perdas. A partir do balanço hídrico de três setores de abastecimentos localizados RMSP, pretende-se discutir e avaliar os componentes dos fluxos e usos da água e seus respectivos graus de confiabilidade.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o de abordar os conceitos que envolvem as perdas no sistema de distribuição de água e os diversos indicadores de desempenho existentes, mais conhecidos como indicadores de perdas, utilizados como um dos principais instrumentos de apoio à gestão nos sistemas de abastecimentos de água.

3 FUNDAMENTOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são apresentadas a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica dos temas mais importantes relacionados a esta pesquisa.

Desta forma, são tratados: conceitos de sistema de abastecimento de água e seus principais componentes; histórico e trabalhos desenvolvidos no Brasil e em outros países; conceitos, causas e ações para o combate às perdas nos sistemas; macro e micromedições, a construção do balanço hídrico, a relação entre redução de perdas e eficiência energética e erros e incertezas de medições.

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

3.1.1 Definições

Um sistema de abastecimento de água, como ilustrado na Figura 3.1, é um conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (TSUTIYA, 2006).

Pode ser concebido e projetado para atender pequenos povoados ou grandes cidades, variando nas características e no porte de suas instalações. Caracteriza-se pela retirada da água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte até os aglomerados humanos e fornecimento à população em quantidade compatível com as suas necessidades.

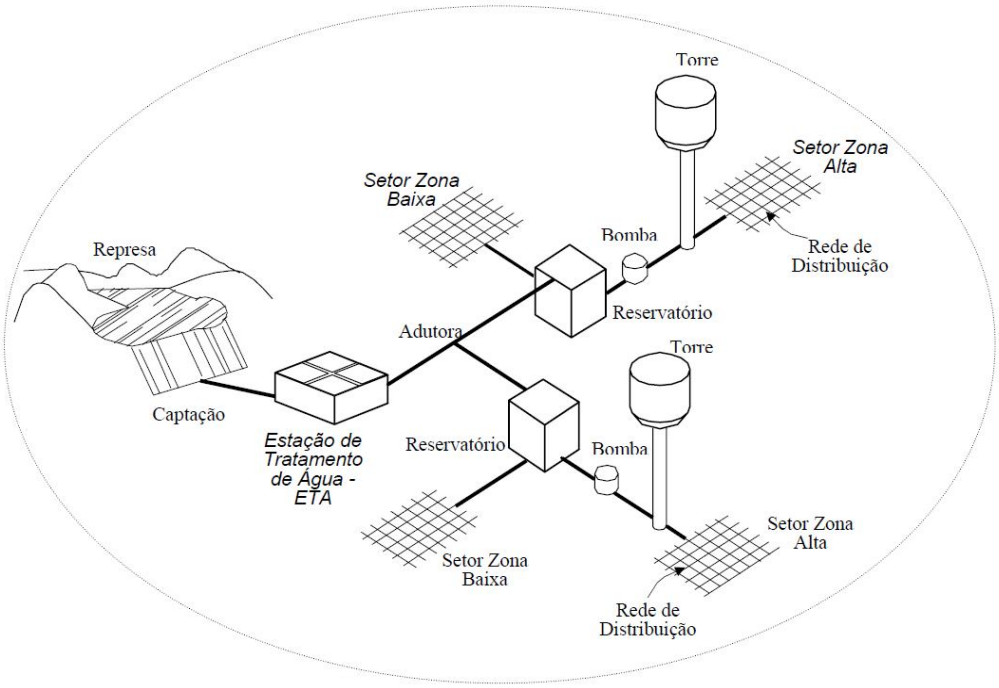

Figura 3.1 - Exemplo de um sistema de abastecimento de água .
Fonte: SABESP (2003).

Segundo Tsutiya (2006), um sistema de abastecimento de água é composto pelas seguintes unidades:

a) Manancial

Corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento público, cuja vazão fornecida deve ser suficiente para atender à demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.

Os mananciais superficiais compreendem em rios, lagos, represas, córregos e ribeirões, onde a parcela da precipitação que escoa sobre a superfície terrestre é o elemento que contribui para a formação e alimentação desses corpos hídricos.

Os mananciais subterrâneos constituem a água proveniente do subsolo, cuja formação ocorre através da parcela das precipitações que infiltra no solo.

A escolha do manancial de um sistema de abastecimento de água é tarefa de suma importância, podendo, desta forma, impactar diretamente nos custos de implantação e operação da adução e do tratamento de água.

Alguns mananciais dispensam tratamento convencional, tais como as captações de água subterrânea existentes em boa parte do estado, cuja água é de melhor qualidade. Porém outras podem apresentar problemas causados principalmente pela degradação ambiental, sobretudo nas grandes cidades, onerando os gastos com o tratamento, mas que se fazem necessários para que se possam atender os padrões de potabilidade.

A Figura 3.2 retrata as represas Guarapiranga e Billings, que têm suas bacias de drenagem fortemente ocupadas por uso urbano com cargas poluidoras predominantemente de origem doméstica, o que tem comprometido seriamente a qualidade desse manancial.

Figura 3.2 – Represa Billings e Guarapiranga. (Fonte: acervo pessoal Zambon).

b) Captação

Conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou instalados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento. A Figura 3.3 apresenta um exemplo de captação instalada junto à represa Billings (Braço Taquacetuba).

Figura 3.3 - Captação flutuante na represa Billings - Braço Taquacetuba. (Fonte: Sabesp).

c) Estação elevatória

Define-se estação elevatória de água como o local físico onde estão instalados conjuntos moto-bombas destinados a conduzir a água, com o acréscimo de vazão e pressão, de modo que ela possa vencer desníveis geométricos ou mais distantes da captação para se garantir a continuidade do abastecimento de água. São componentes essenciais nos sistemas de abastecimento de água, sendo empregados na captação, adução, tratamento e distribuição de água.

Segundo Oliveira (2011), também existe o *booster,* conhecido como equipamento auxiliar de recalque que permite reintroduzir pressão à rede, garantindo o abastecimento de pontos desfavoráveis e em regiões acidentadas que, em geral,

estão sujeitas a maiores perdas de carga e a despressurização durante o transporte da água.

A Figura 3.4 apresenta a estação elevatória de água Vila Bela que recalca água tratada para o reservatório Jardim da Conquista, responsável pelo abastecimento do setor de mesmo nome.

Figura 3.4 – Estação elevatória de água Vila Bela. (Fonte: Sabesp).

No que tange ao consumo de energia elétrica de um sistema de abastecimento de água, os componentes responsáveis pela maior parcela, podendo atingir até 95% do consumo total do sistema, são as estações elevatórias de água bruta e tratada (PROSAB, 2009). A Figura 3.5 mostra um exemplo de como são normalmente distribuídas as estações elevatórias em um sistema de abastecimento.

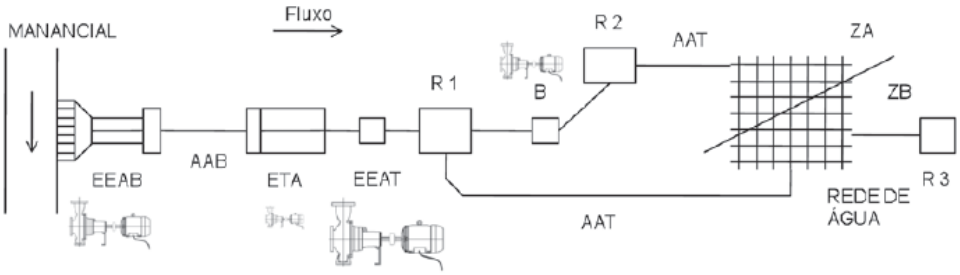

Figura 3.5 - Configuração típica de um sistema público de abastecimento de água. Fonte: PROSAB (2009).

d) Adutora

As adutoras são condutos, tubulações ou canais, que conduzem água entre unidades do sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição. Desta forma, as adutoras interligam a captação à estação de tratamento de água e desta aos reservatórios. Em geral são tubulações de grandes diâmetros, variando geralmente conforme o porte do sistema de 0,3 metros a 2,5 metros.

A Figura 3.6 apresenta parte da extensa e complexa adutora do Rio Claro, constituída por aquedutos, túneis, sifões com extensão original de 77 km da ETA Casa Grande até o reservatório da Mooca, que cruza o município de Mauá junto à estrada do Sapopemba.

Figura 3.6– Adutora do Rio Claro. (Fonte: Sabesp).

e) Estação de tratamento de água

Estação de Tratamento de Água (ETA) corresponde ao conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.

O tratamento de água deverá ser efetuado quando for comprovada a sua necessidade e a purificação for indispensável, compreendendo os processos imprescindíveis à obtenção da qualidade necessária para o abastecimento público.

A Figura 3.7 mostra a ETA do Guaraú, que atende aproximadamente metade da população da RMSP.

Figura 3.7 – Estação de tratamento de água. (Fonte: Sabesp).

f) Reservatório

Elemento concebido e operado cujos principais objetivos são a regularização das variações entre as vazões de adução e de distribuição, o condicionamento das pressões na rede de distribuição e a reserva para combate de incêndio e outras situações emergenciais.

Dependendo da sua posição em relação ao terreno, os reservatórios podem ser classificados em: enterrado, semi-enterrado (Figura 3.10), apoiado (Figura 3.8) e elevado (Figura 3.9).

Figura 3.8 – Reservatório apoiado Jardim da Conquista. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.9 – Reservatório elevado Vila Mariana. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.10 – Reservatório semi-enterrado Sacoma ZM. (Fonte: Sabesp).

g) Rede de distribuição

Rede de distribuição de água é a parte do sistema constituída por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos destinada a fornecer água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas ao consumidor final.

Uma rede de distribuição é normalmente constituída por tubulações de maior diâmetro (rede primária) que tem por finalidade abastecer as de menor diâmetro (rede secundária) que por sua vez tem a função de abastecer diretamente os pontos de consumo dos sistemas de abastecimento de água.

A Figura 3.11 mostra um exemplo de cadastro de redes de distribuição de água utilizado pelas concessionárias.

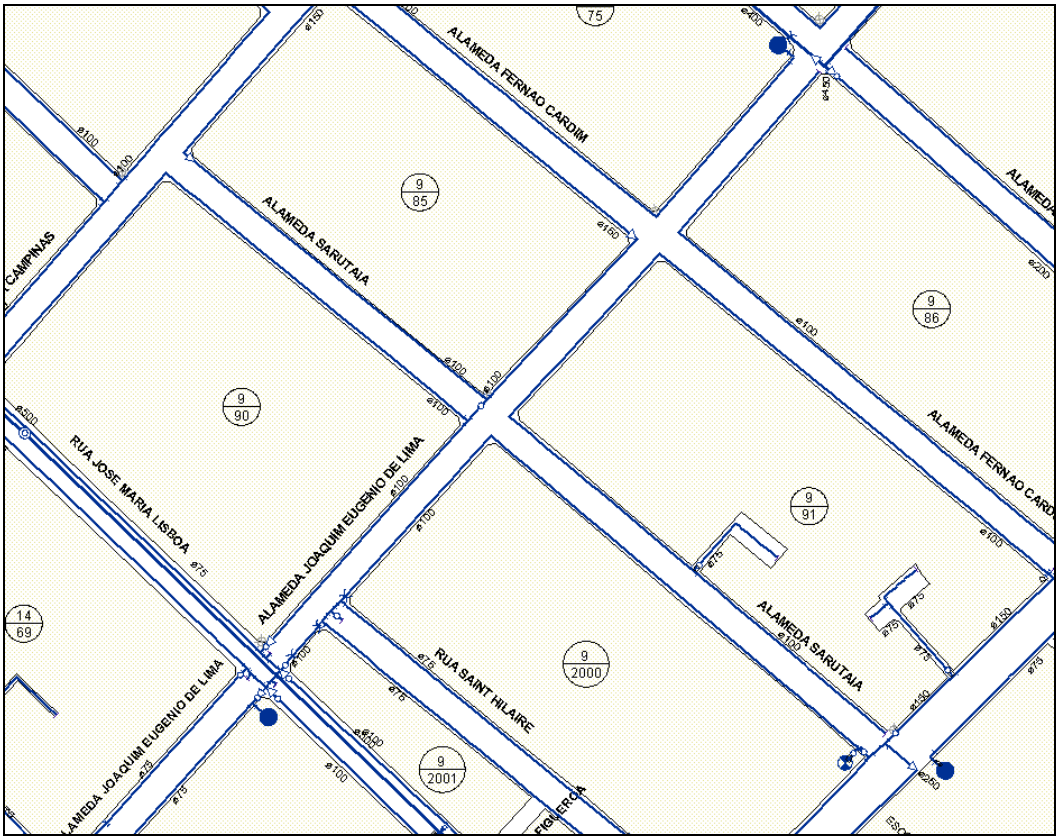

Figura 3.11 – Cadastro de redes de distribuição. (Fonte: Sabesp).

3.1.2 Setor de abastecimento

Setor de abastecimento é a unidade do sistema de distribuição de água constituída por canalizações principais e secundárias.

As canalizações principais, também denominadas de redes primárias, são de maiores diâmetros e tem a finalidade de abastecer as canalizações secundárias, que por sua vez possuem menores diâmetros e tem a função de abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema de abastecimento.

A setorização consiste na divisão da rede em setores de menor dimensão com fronteiras conhecidas e bem delimitadas, onde se controlam todas as entradas e saídas das vazões. Cada setor deve ter características bem definidas que serão regularmente monitoradas, avaliadas e mantidas ou ajustadas (TARDELLI FILHO, 2006).

Além disso, devem ser respeitadas as pressões mínimas dinâmicas e as pressões máximas estáticas, cuja Norma Brasileira NBR 12.218 da ABNT estabelece em 100 kPa (aproximadamente 10 mca) e 500 kPa (aproximadamente 50 mca), respectivamente.

Existem vários níveis de setores de abastecimento sendo o mais conhecido deles como clássico, cujo abastecimento pode ser feito diretamente a partir de uma ligação entre a adutora e a rede de distribuição, onde o reservatório deixa de ser o separador das duas partes, e que normalmente ocorrem em sistemas mais complexos, ou indiretamente, através de um reservatório setorial (enterrado, apoiado ou elevado).

Um segundo nível de setorização é determinado pelo zoneamento piezométrico, onde são criadas zonas de pressão utilizando-se o próprio reservatório setorial que abastecem a “zona baixa” e as elevatórias, que por sua vez abastecem a “zona alta”, que recalcam a água do reservatório setorial para as torres ou direto para as redes.

O terceiro nível é definido pelos *boosters* de rede para atender os pontos mais elevados do setor, localizados acima do plano piezométrico; e por válvulas redutoras de pressão (VRPs) para reduzir a pressão nos pontos onde estas superem os valores de pressão máxima estabelecida em normas.

Num estudo de setorização, no que tange à elaboração de projeto de uma rede, após a delimitação da área, a primeira providência a se adotar é o estabelecimento das suas zonas de pressão para que as respectivas pressões estáticas e dinâmicas obedeçam aos limites citados anteriormente (PRINCE, 2010).

Através do estudo da topografia da região a ser abastecida, apenas uma zona de pressão deverá ser adotada se a diferença entre a maior e a menor cota altimétrica da área de projeto não ultrapassar os 40 metros. Caso essa diferença for maior de 40 m, haverá a necessidade de mais de uma zona de pressão.

3.2 HISTÓRICO

O homem, desde a sua origem, convive com as condições naturais do planeta, tanto no seu uso como na sua sobrevivência (TUCCI, 2007). Sua história está diretamente ligada à utilização da água para atender às necessidades básicas de higienização e dessendentação, além da irrigação de suas culturas agrícolas e criações de animais.

Os sistemas de distribuição de água têm sido usados por milhares de anos. Os antigos gregos, egípcios e romanos captavam, tratavam e distribuíam a água de maneira similar aos dias de hoje. A tecnologia mudou, porém os fundamentos continuam os mesmos, desde a captação da água bruta até a entrega da água tratada ao consumidor final.

A Roma antiga era abastecida com um volume de água de cerca de 160 mil m³ por dia através de 420 km de aquedutos e canais. As tubulações e os canais eram constituídos de tijolos e pedras revestidos de cimento e algumas tubulações eram compostas de chumbo. Segundo Thorton (2002), aparentemente o primeiro sistema de abastecimento foi instalado no ano de 321 A.C. Havia aproximadamente 250 reservatórios de água e o sistema de abastecimento se dava por gravidade.

Segundo Melato (2010), nos anos de 1800 surgem as primeiras preocupações referentes à redução de perdas de água em sistemas de abastecimento com a aplicação da equação de Emil Kuichling para vazamento inevitável, medições de vazão, com utilização de tubo pitot e pesquisa de vazamentos, com utilização de haste acústica produzida em madeira.

Tsutuiya (2006) relata que outro estudo relativo ao controle e redução de perdas de água data do ano de 1881, desenvolvido em Glasgow, Escócia, onde chegou a um índice de perdas de 77%. Já no Brasil, apenas em 1950, um primeiro levantamento de perdas de água foi feito em Manaus, que mostrou um índice de perdas de 70%.

As primeiras iniciativas institucionais no Brasil para se combater as perdas ocorreram no final da década de 70, com o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). Na ocasião, as intervenções tiveram maior foco em micromedição,

pitometria e pesquisa de vazamentos não visíveis, alcançando resultados positivos ao longo dos anos seguintes.

Em 1981, foi constituída a Comissão Nacional de Controle de Perdas pelo antigo Banco Nacional de Habitação (BNH), formada por representantes de diversas prestadoras de serviços de saneamento, destinada a assessorar o banco no estabelecimento de diretrizes de âmbito nacional para controle de perdas. Já com recursos financiados pelo BNH, foi implementado na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) o Plano Estadual de Controle de Perdas (PECOP), com o objetivo de reduzir o volume perdido, bem como identificar e eliminar os fatores que ocasionam as perdas (MELATO, 2010).

Nesse mesmo ano, a *Lyonnaise Des Eaux Services Associés* (LYSA) presta consultoria à Sabesp em Programa de Redução de Águas Não-Faturadas na identificação do nível real e a composição das perdas físicas e não-físicas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP); além de propor medidas adequadas para a redução das perdas, realizando análise custo/benefício em quatro categorias:

- Ações básicas fundamentais;
- Ações referentes à redução de perdas físicas (ou reais);
- Ações referentes à redução de perdas não-físicas (ou aparentes);
- Ações referentes ao gerenciamento comercial.

Em 1984, o PECOP foi reformulado, tendo sua abrangência ampliada através da adoção de novas ações. Desta forma, originou-se o Programa de Controle e Desenvolvimento da Operação (PEDOP), partindo do princípio de que com a adoção de uma ação global de planejamento, controle e desenvolvimento da operação, os resultados de perdas seriam meras conseqüências dessas ações gerais.

As ações adotadas foram divididas em 8 subprogramas: i) micromedição, ii) redução e controle de vazamentos, iii) macromedição, iv) pitometria, v) desenvolvimento da operação; vi) revisão dos critérios de projetos e construção e desenvolvimento da qualidade de materiais e equipamentos, vii) cadastro dos sistemas existentes e de grandes consumidores, viii) segurança dos sistemas.

Entre as décadas de 80 e 90 diversas companhias de saneamento brasileiras deram os primeiros passos na direção do desenvolvimento e implantação de programas

para controle e redução de perdas. Em 1986, a cidade de Porto Alegre, com uma população de 1,1 milhão de habitantes, apresentava em seu sistema de abastecimento de água um índice de perdas totais de até 49% e manutenção de até 250 ocorrências diárias. O Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) do município vislumbrou então um material capaz de permitir substituição de até 100 km anuais dos 850 km de redes com alto índice de vazamentos. Iniciava-se então um programa de substituição anual de redes, que associada a outras iniciativas como setorização de redes e automação de sistemas que resultou em uma redução de 17% nas perdas e de até 150 atendimentos/dia. Em 1992, a Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA) investiu, na área operacional, em micromedição e macromedição visando o aumento do faturamento e o controle de perdas de água. Em 1993, a Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (SANASA), do município de Campinas, São Paulo, desenvolveu o programa de controle de perdas de água que foi eleito como um dos programas estratégicos da empresa. Nesse mesmo ano teve início na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) o PECOP, denominado posteriormente de Desenvolvimento Operacional, a partir do qual se desenvolveu na empresa uma conscientização da necessidade de se combater a perda de água nos sistemas. Na ocasião, o índice de perdas era estimado entre 50% e 60%. Em 1996, o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SEMAE), autarquia do município de Ibiporã, Paraná, definiu um Programa de Redução e Controle de Perdas, cuja finalidade era implantar e sustentar atividades que possibilitassem a obtenção de dados confiáveis para elaboração de um diagnóstico de todo o sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2003).

Em 1993, o Governo Federal estruturou o Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS) que evoluiu a partir de 2003 para uma ação permanente. Atualmente o Programa atua como área técnica de suporte às ações da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades, implementando projetos importantes e prestando assistência a estados e municípios, bem como seus prestadores e reguladores dos serviços de saneamento básico, visando à melhoria da gestão. Além disso, desenvolve, dentre outros, projetos nas áreas de capacitação, gestão das perdas de água e do uso de energia elétrica, cooperação técnica internacional, realização de estudos sobre temas relevantes de interesse nacional, e divulgação e disseminação de experiências (PMSS, 2011).

Em 1996, foi implantado o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, pela Secretaria de Política Urbana do então Ministério do Planejamento e Orçamento - SEPURB/MPO, por meio do PMSS. A implantação do SNIS iniciou-se em 1996, com a coleta de informações de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, fornecidas pelos prestadores de serviços, referentes ao ano base de 1995.

A partir daí, segundo Miranda (2001), o SNIS coleta informações atualizadas anualmente, amplia a amostra e faz revisões na metodologia de coleta e tratamento dos dados, no glossário de termos e na relação de indicadores, além de incluir novas informações e indicadores e de aprimorar o banco de dados.

Em abril de 1997, o Governo Federal instituiu o Plano Nacional de Combate e Desperdício de Água (PNCDA), com o objetivo geral de promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. Já os objetivos específicos foram o de definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas (PMSS, 2011). Desta forma, concentraram-se esforços no apoio ao desenvolvimento, à transferência e à disseminação de tecnologia, em articulação com outros programas federais e apoiando os Planos de Combate ao Desperdício de Água, em nível federal e local.

A implementação das ações, dividida em três fases, foram auxiliadas através da elaboração de Documentos Técnicos de Apoio (DTAs), elaborados após amplas discussões:

- Fase I, em 1997, foram discutidos 16 DTAs, que refletiram a retomada de estudos abrangentes na área de saneamento.
- Fase II, em 1998, incluiu a produção de mais 4 DTA’s, sua publicação e a implantação de um sistema de acesso via rede mundial de computadores.
- Fase III, em 2003, foram previstas atividades diversas, revisão das DTA’s criadas nas Fases I e II e elaboração de novas DTAs.

Em setembro de 1997, a Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais - AESBE e a Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento - ASSEMAE criaram um grupo de trabalho específico, voltado à discussão e ao desenvolvimento de alternativas para os indicadores de desempenho operacional e gerencial dos serviços, com destaque para os indicadores de perdas.

De 1999 a 2000, foi desenvolvido o Programa de Qualificação e Certificação em Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos sob Pressão, pela Associação Brasileira de Ensaios Não-Destrutivos (ABENDE) e pela Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (AESBE).

Nos anos 90, a *International Water Association* (IWA) concentrou esforços numa iniciativa para avaliar as operações de abastecimento de água. Como parte desta iniciativa, estabeleceu-se a Força Tarefa de Perda de Água cujo objetivo era de conceber um modelo aceitável de auditoria das águas e desenvolver e recomendar indicadores de desempenho que pudessem ser utilizados em qualquer parte do mundo.

Esse trabalho resultou, em 2000, na publicação da primeira edição do Manual de Melhores Práticas para Indicadores de Desempenho para Sistemas de Abastecimento de Água. Segundo Melato (2010), foram padronizadas a terminologia e a definição de uma série de indicadores para sistemas de abastecimento de água, onde também foram definidos os indicadores de perdas, permitindo a comparação de índices de desempenho de diferentes empresas de diversos países, tamanhos, públicas, privadas, de diferentes graus de desenvolvimento e complexidade. Envolvendo centenas de pessoas de diversos países e horas de construtivas discussões, o projeto levou mais de nove anos até a sua conclusão (ALLEGRE *et al.*, 2006).

A proposição incorporou 133 indicadores de desempenho discriminados em seis grupos: indicadores de recursos hídricos (2), indicadores de recursos humanos (22), infraestruturais (12), operacionais (36), qualidade do serviço (25) e econômico-financeiros (36).

No entanto, os pareceres e comentários dos usuários indicaram que o sistema era muito complicado e amplo (os usuários não poderiam usar todos os 133 indicadores) ou muito limitado (os usuários não poderiam utilizar os indicadores necessários em

conjunto). As respostas para estas questões eram claras para os autores (nem todos os indicadores necessários eram utilizados em todas as ocasiões e indicadores adicionais poderiam ser utilizados quando necessário) mas aparentemente isso não ficou claro na primeira edição (ALLEGRE *et al.*, 2006).

Com o intuito de melhorar o que os autores pensavam ser uma ferramenta poderosa e útil e atualizar a primeira edição, a IWA publicou em 2006 a segunda edição do manual (LIEMBERGER *et al, 2007*).

A fim de entender as necessidades dos profissionais de saneamento que estavam dispostos a utilizar os indicadores de desempenho propostos pela IWA, foi desenvolvido um projeto de teste de campo com mais de 70 empresas de saneamento do mundo todo. Ocorreram diversos fóruns e o conjunto dos indicadores foram adaptados tendo em conta as recomendações propostas. Milhares de pequenos ajustes do sistema de indicadores de performance foram feitos para que as definições se tornassem mais claras, para ampliar o escopo da aplicação e para melhorar a cobertura das necessidade dos gestores das empresas.

Além disso, o foco do novo texto foi modificado em relação a como utilizar os indicadores de desempenho propostos pela IWA e o novo manual foi estruturado em duas partes. A primeira parte descreve a evolução do manual original e contém todos os indicadores de desempenho, as variáveis e os elementos de informação com suas definições completas e referências. A segunda parte tem como objetivo fornecer as instruções de utilização do conjunto de indicadores, incluindo exemplos reais que não fornecem soluções típicas, mas ilustram como o conjunto de indicadores pode ser adaptado para cada situação (ALLEGRE *et al.*, 2006).

A IWA também tem promovido uma série de conferências internacionais com o objetivo de apresentar e discutir os últimos desenvolvimentos, estratégias, técnicas e aplicações relacionadas às melhores práticas internacionais na avaliação, gestão e redução de perda de água.

A primeira conferência realizada pela Força Tarefa ocorreu em 2002 em Lemessos, Chipre e teve a participação de cerca de 80 profissionais da área de saneamento provenientes de países predominantemente europeus. A segunda conferência, chamada de "*Leakage* 2005" foi realizado em Halifax, Canadá e foi assistida por mais de 200 profissionais de todo o mundo. Reconhecendo a importância para a

melhoria do uso eficiente da água na Europa Oriental, a terceira conferência então denominada de "*Water Loss* 2007" foi levada a Bucareste, na Romênia e teve a participação de 300 profissionais de mais de 40 países. Em 2009, a quarta conferência, já melhor organizada e estabelecida, foi realizada na Cidade do Cabo, África do Sul. Devido ao interesse ter superado todas as expectativas e ao número limitado de registros, as inscrições foram fechadas aos novos participantes, tendo sido esgotadas as 450 inscrições disponibilizadas. A quinta conferência foi realizada na cidade de São Paulo, em junho de 2010, com mais 600 participantes de 30 diferentes países ao redor do mundo (IWA, 2011). A sexta e última conferência foi levada à Manila, nas Filipinas, em fevereiro de 2012, e abordou a urgência de melhoria do uso eficiente da água para países em desenvolviemento e principalmente aos países do continente asiático. Foram apresentados exemplos de lições aprendidas e discutidas a necessidade de uma gestão mais eficiente em redução de perdas a esses países.

Segundo Miranda (2002), nos últimos anos foram desenvolvidos diversos diagnósticos de perdas em companhias estaduais de saneamento do Brasil, parte deles financiados pelo Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Esses diagnósticos tiveram o mérito de sistematizar um roteiro lógico para o conhecimento do problema e a proposição de ações de combate, além de terem produzido tecnologias inovadoras.

Pode se afirmar que os programas de controle de perdas são programas de caráter permanente e auto-sustentáveis sob o aspecto econômico-financeiro, por isso são sempre considerados essenciais e estratégicos pelas empresas.

A conscientização do problema, o conhecimento das técnicas e o envolvimento de todos os profissionais da companhia são fundamentais para reverter o preocupante quadro hoje ocorrente na maioria dos sistemas de abastecimento, com perdas elevadas e uma má imagem perante seus clientes (TARDELLI FILHO, 2006).

Inovações em programas de controle e redução de perdas de água continuam a ocorrer e geralmente o ítem custo-benefício não é o fator limitante para sua implementação. Muitas vezes o maior desafio para se manter um sistema de abastecimento de água eficiente é a necessidade em se reunir boa gestão e vontade

política para se desenvolver e implantar um programa de controle de perdas de água nas companhias de saneamento (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

3.3 COMPONENTES DAS PERDAS DE ÁGUA

Há uma diversidade de considerações sobre o que são perdas em sistemas de abastecimento de água e consequentemente não há convergência entre as companhias de saneamento. Na busca de soluções para esse problema, companhias e consultores de todo o mundo vem se dedicando às pesquisas e estudos para se viabilizar comparações de desempenho entre sistemas distintos e um correto acompanhamento dos indicadores.

Num sistema de abastecimento de água, as perdas podem ocorrer em suas diversas fases, tais como na captação e adução de água bruta, no tratamento, na adução e reservação de água tratada e na distribuição (TARDELLI FILHO, 2006). Cabe ressaltar, segundo Galvão (2007), que a maior parte das perdas ocorre na infraestrutura de distribuição, que compreende a rede de distribuição e as ligações prediais.

Farley e Trow (2003) afirmam que a variação do volume perdido no sistema de distribuição depende das características das tubulações das redes, das práticas operacionais e do nível de tecnologia e conhecimento aplicado pelas companhias de saneamento para o seu controle. Também há grande variação em volumes perdidos de país para país e entre as regiões de cada país.

Um dos fundamentos para elaboração de estratégias para o controle de perdas é, portanto, a compreensão do relativo significado de cada componente correspondente ao volume perdido, assegurando-se que cada um seja medido ou estimado com a máxima precisão possível para que, desta forma, possam hierarquizar-se ações de combate às perdas, e também para a construção dos indicadores de desempenho (HELLER; PÁDUA, 2006).

A IWA define em duas categorias as perdas que ocorrem em sistemas de abastecimento de água:

3.3.1 Perda física

Segundo Tardelli Filho (2006), perda física corresponde ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final, decorrentes de vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, extravasamento de reservatórios setoriais, além dos volumes utilizados de formas inadequadas nas unidades operacionais, destacando-se a descarga para limpeza de rede de distribuição, quando estes provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação. Esse tipo de perda denomina-se Perda Real, segundo nomenclatura definida pela IWA.

Há que se destacar uma questão ambiental importante que se refere à conservação da água bruta dos mananciais que compõem o sistema produtor, pois quanto menor o volume perdido no sistema, menor é a necessidade de ampliação da captação, ocasionando menores impactos ambientais.

Além disso, a redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção, mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros, além de utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor.

3.3.2 Perda não física

Perda não-física equivale ao volume de água que é consumido, não faturado pela operadora de saneamento e causado por erros de medições dos hidrômetros (macro e micro), fraudes, consumos clandestinos e falhas no cadastro comercial. De acordo com a IWA, esse tipo de perda denomina-se Perda Aparente (TARDELLI FILHO, 2006). A redução das perdas aparentes permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do

prestador de serviços. Contribui indiretamente para a ampliação da oferta efetiva, uma vez que induz à redução de desperdícios por força da aplicação da tarifa aos volumes efetivamente consumidos.

3.4 MACROMEDIDORES

Segundo Helou e Helou (2006), os macromedidores são normalmente medidores de vazão de maior porte instalados em adutoras e são utilizados para medição de água bruta, medições na entrada de setores de distribuição, ou ainda medição de água tratada entregue por atacado a outros sistemas públicos.

As vazões obtidas dos medidores de vazão se fazem através das relações existentes entre velocidade do fluído e área da seção transversal da tubulação (velocidade x área) ou entre o volume e tempo (volume/tempo) (BRASIL, 2007).

Desta forma, a precisão do macromedidor relaciona-se diretamente com a precisão com a qual se determina a velocidade e área da tubulação no primeiro caso e volume e tempo no segundo caso.

Uma característica básica dos medidores de vazão é a de possuir dois elementos distintos:

- Elemento primário: é o dispositivo do medidor que se encontra diretamente em contato com o fluído, tendo como função transformar a vazão em outra grandeza física mensurável.

- Elemento secundário: é o dispositivo responsável pela transformação da grandeza física obtida do elemento primário em informação adequada para leitura, seja no próprio local ou à distância.

Com estas definições, os medidores de vazão utilizados no saneamento básico podem ser agrupados nos seguintes grupos:

a) Medidores velocimétricos

Equipamentos no qual o elemento primário relaciona a vazão em termos de velocidade. O elemento secundário destes medidores é um conjunto de engrenagens no qual a velocidade é contabilizada de forma a ser expressa em volume.

O medidor velocimétrico pode possuir um elemento secundário que converte a velocidade em pulsos, os quais devidamente contados podem ser convertidos em volume ou vazão quando considerado o tempo. Pertencem a esta família os medidores do tipo: Woltmann, turbina ou turboélice e microturbinas.

b) Medidores deprimogêneos

Equipamentos no qual o elemento primário relaciona a vazão em termos de diferencial de pressão, que por sua vez é associado com a velocidade de fluído, segundo a equação de Bernoulli. O elemento secundário destes equipamentos deve converter diferencial de pressão em valores de leitura convenientes. Pertencem a este grupo os medidores do tipo: tubo Pitot, tubo Venturi e placas de orifício.

c) Medidores secundários

Equipamentos no qual a vazão é convertida em impulsos elétricos. Pertencem a esta família, dentre outros, os seguintes tipos de medidores: magnéticos, ultra-sônicos e vórtice.

d) Medidores volumétricos

Equipamentos no qual a vazão é determinada pelo número de vezes em que é preenchida uma câmara de volume conhecido. De um modo geral, são sensíveis as baixas vazões e apresentam erros menores, mesmo com escoamento reduzido. Por isso são recomendados quando se pretende efetuar rigoroso combate à fuga e desperdício em instalações domiciliares.

e) Medidores de canal aberto

Equipamentos nos quais a vazão é relacionada à perda de energia (ressalto hidráulico), expressa em altura de coluna de água. Pertencem a esta família, entre outros, os seguintes medidores: calha Parshall e vertedores.

3.4.1 Calibração de macromedidores

3.4.1.1 Calibração de medidores de vazão deprimogêneos

A equação geral dos medidores deprimogêneos é formulada através da equação:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P} \tag{1}$$

Onde:

Q= Vazão

K = constante do medidor

ΔP = diferencial de pressão

Segundo Brasil (2007), o levantamento da constante K é baseado na determinação de pares Q (vazão) e ΔP (diferencial de pressão) *in loco*. Os ensaios para obtenção dos valores de K devem ser executados periodicamente. Recomenda-se que se façam programações anuais de tais serviços.

A execução dos ensaios de calibração pode ser dividida em quatro fases:

a) A primeira fase destina-se ao levantamento de dados visando à obtenção de esquemas hidráulicos relativos às condições de contorno do ponto de medição. Por meio deste levantamento, são determinadas as rotinas das manobras que serão feitas para obtenção das variações de vazão necessárias ao longo dos ensaios;

b) Conhecidas as condições de contorno do ponto de medição, procedem-se aos ensaios para a determinação dos pares de valores de vazão e diferencial de pressão;

c) De posse dos dados levantados em campo, na fase seguinte, são procedidos os cálculos para a determinação da constante;

d) Após a determinação da constante, realizar novamente os ensaios para a confirmação dos valores obtidos.

Procedimentos e recomendações para calibração de deprimogêneos em campo com tubo Pitot

Segundo Sabesp (2008), segue abaixo a cronologia das ações para a execução das atividades de calibração.

- Avaliar as instalações e configurar o medidor em teste e a estação pitométrica:

Realizado previamente pela equipe de operação na estação em questão, este processo consiste na identificação em campo do macromedidor (primário e secundário) e da estação pitométrica, bem como na verificação da existência de derivações entre a estação pitométrica e o medidor, avaliação das condições de trabalho nos poços de visita tais como: existência de escada, medição de concentração de oxigênio e de gases explosivos, iluminação, etc.

- Providenciar a preparação do local.

- Medir o diâmetro da tubulação:

Neste processo, além do calibre (galgador), utiliza-se uma escala de aço. Ao se medir o diâmetro interno de uma tubulação, deve-se atentar para o fato do galgador possuir uma distância chave de 20 mm, que deve ser somada ao diâmetro medido no galgador.

A medição do diâmetro interno da tubulação deve ser realizada na vertical, horizontal ou em ambas; se existirem dois *taps* (ou válvulas de esfera). Outra disposição dos *taps* pode ser a 45° em relação ao eixo vertical.

- Efetuar a montagem e a preparação dos equipamentos para o mapeamento pitométrico de velocidades: o perfil de velocidades é obtido através de um Tubo de Pitot previamente calibrado em túnel de vento.

- Instalar o Tubo de Pitot no *tap* (ou válvula de esfera) em posição qualquer.

- Introduzir o Tubo de Pitot até a geratriz inferior da tubulação, posicionando a guia na haste.

- Posicionar o Tubo de Pitot na geratriz superior para verificar se a última posição corresponde ao valor calculado na planilha.

- Conectar os transdutores de pressão, promovendo a eliminação do ar do sistema.

- Posicionar o Tubo de Pitot com os *tips* no centro da adutora e promover um giro de 180°, verificando se as leituras estão coerentes. Caso negativo, deve-se avaliar se há problemas no transdutor de pressão ou nos *tips* do Tubo de Pitot.

- Solicitar a vazão desejada ao centro de controle operacional ou à equipe de manobras da operadora que acompanha o ensaio. Aguardar a estabilização da vazão.

- Promover os ajustes necessários.

- Efetuar a repetição da vazão, caso necessário.

- Verificar a instrumentação.

- Emitir relatório.

- Pontos de controle: para controlar a calibração, os seguintes itens devem ser verificados durante o teste: i) variação máxima da vazão permitida durante a calibração: 3%, ii) limites operacionais dos transdutores, iii) alinhamento do Tubo de Pitot em relação à tubulação, iv) ligação elétrica e hidráulica dos transdutores de pressão.

3.4.1.2 Aferição em campo de macromedidores velocimétricos

Dois métodos podem ser utilizados para a aferição dos medidores velocimétricos. Aferição com vazões instantâneas e aferição com registros de volume que serão melhor detalhados a seguir.

Aferição com vazões instantâneas

Neste tipo de aferição, procura-se verificar a curva de erros do medidor.

A vazão de referência é determinada através do tubo Pitot.

O melhor procedimento é quando se podem obter valores de vazão nos ensaios próximos às vazões características do medidor (vazão mínima, vazão de transição e vazão nominal). O estabelecimento destas vazões em situação de campo é muito difícil, o que pode inviabilizar os ensaios de aferição. Desta forma, pode-se simplificar o processo procurando verificar a precisão do medidor nas vazões corriqueiras de sua operação (Brasil, 2007).

Os seguintes procedimentos podem ser utilizados:

a) Instalação do tubo Pitot e determinação da curva de velocidades e constante pitométrica da estação;

b) Iniciar as leituras. Concomitantemente com a primeira leitura no Pitot, deve-se proceder à leitura do macromedidor, iniciando a contagem de tempo com um cronômetro;

c) Juntamente com a última leitura do Pitot, deve-se proceder à nova leitura de volume no macromedidor e parar o cronômetro;

d) Calcular a vazão registrada no macromedidor utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Q_{macro} = \frac{(Leitura_{final} - Leitura_{inicial})}{tempo} \qquad (2)$$

e) Calcular a vazão determinada pela pitometria (Q_{pitot});

f) Comparar os dois valores conforme a fórmula abaixo:

$$Desvio = \frac{(Q_{macro} - Q_{pitot})}{Q_{pitot}} x\, 100\% \qquad (3)$$

A análise da conformidade do desvio deve ser feita conforme a vazão utilizada no ensaio: se a vazão de ensaio for superior à vazão de transição do medidor, considera-se que o medidor não necessita de ajustes quando o desvio obtido estiver no intervalo ± 4%. Se a vazão de ensaio situa-se no intervalo entre a vazão mínima e de transição, considera-se que o medidor não necessita de ajustes quando o desvio obtido situar-se entre ± 10%.

Observa-se que os desvios dos volumes descritos como aceitáveis referem-se ao dobro dos erros admitidos, conforme a curva de precisão destes equipamentos. Esta

flexibilidade deve-se ao procedimento utilizado na calibração e ao acúmulo de erros admissíveis que há nos processos.

A prática demonstra que este método é eficaz para verificações periódicas de funcionamento do macromedidor. Caso seja necessária uma maior precisão e ajustes, recomenda-se que a aferição seja feita pelo método descrito a seguir.

Aferição com registro de volume

Conforme Brasil (2007), nesta aferição o volume registrado pelo macromedidor é comparado com volume resultante do registro de vazões pelo prazo mínimo recomendado de 24 horas.

O procedimento é para a realização desta modalidade de aferição e encontra-se descrito abaixo:

a) Instalação do tubo Pitot e determinação da curva de velocidade e constante da estação pitométrica.

b) Instalação no tubo Pitot de equipamento registrador de diferencial de pressão (registrador de vazão) mecânico ou eletrônico.

c) Proceder à leitura do macromedidor e registrar o horário. Caso esteja sendo utilizado registrador de vazão mecânico, verificar o horário de registro, anotando-o junto à leitura do macromedidor.

d) Após o período mínimo de 24 horas, deve-se novamente ler o macromedidor, registrando este momento no gráfico (registrador mecânico) ou verificar o momento no registrador eletrônico.

A determinação do desvio do macromedidor será feita através da comparação dos volumes registrados. Para converter os dados de vazão obtidos nos registradores para volumes, pode-se realizar o seguinte procedimento:

Tabular os dados de vazão obtidos com o registrador ao longo do tempo, obtendo-se em cada intervalo o valor do volume. Recomenda-se executar a tabulação para intervalos de 15 minutos, conforme a Tabela 3.1 exemplificada a seguir:

Tabela 3.1 – Tabulação de dados de vazão ao longo do tempo.

Horário	Vazão	Vazão Média (m³/s)	Volume (m³)
15:15	15:30	0,107	96,3
15:30	15:45	0,108	97,2
15:45	16:00	0,107	96,3
16:00	16:15	0,110	99,0
16:15	16:30	0,112	100,8
...	...	...	...

Fonte: BRASIL *(*2007).

O volume á calculado multiplicando-se o valor da vazão pelo tempo, no caso 900 segundos (o intervalo utilizado foi de 15 minutos).

Observa-se que haverá maior precisão no cálculo de volume quanto menor for o intervalo discretização. Os registradores eletrônicos permitem que o tempo de amostragem seja regulado, podendo-se obter registros até em intervalos de 5 segundos.

O somatório dos volumes registrados deve ser comparado com o volume registrado pelo macromedidor, calculando-se o desvio conforme a fórmula abaixo:

$$Desvio = \frac{(Volume_{macro} - Volume_{registrador})}{Volume_{registrador}} \; x \; 100\% \qquad (4)$$

Desvios situados na faixa de ± 4% são considerados normais.

Constatando-se desvios fora desta faixa, para os macromedidores Woltmamnn, pode-se proceder à regulagem do medidor através de seu parafuso de regulagem.

Estando os erros positivos (> +4%), girar o parafuso de regulagem no sentido anti-horário.

Estando os erros negativos (< -4%), o giro do parafuso deve ser dado no sentido horário.

3.4.1.3 Aferição de macromedidores magnéticos

A aferição de macromedidores magnéticos pode ser realizada com os procedimentos já vistos para o macromedidor mecânico.

A experiência mostra que a aferição com vazão instantânea é suficiente para a análise de macromedidores magnéticos. Nestes equipamentos, a curva de erros desloca-se por inteiro, assim, havendo qualquer desvio, o mesmo ocorrerá em qualquer vazão.

Havendo necessidade de ajustes, os mesmos devem ser feitos por meio de constantes configuradas na programação do equipamento.

3.5 MICROMEDIDORES

Os micromedidores, também chamados de hidrômetros, são aparelhos destinados a medir e indicar a quantidade de água fornecida pela rede de distribuição a uma instalação predial (SHINTATE, REGO e GONDO, 2006). São constituídos em geral de uma câmara de medição, um sistema de transmissão, e uma unidade de conversão que registra num mostrador os volumes escoados através do mesmo.

Os hidrômetros mais utilizados, segundo o princípio de funcionamento da câmara de medição, podem ser classificados como hidrômetros de volume e hidrômetros de velocidade, que serão melhor detalhados a seguir.

a) Hidrômetro de volume

Os hidrômetros de volume ou hidrômetros volumétricos possuem câmaras de volume conhecido que se enchem e se esvaziam de maneira alternada e contínua, com o fluxo da água. Um mecanismo apropriado permite transmitir o movimento da

peça móvel da câmara de medição a um sistema de conversão, de totalização e indicação (SHINTATE; REGO; GONDO, 2006).

Os hidrômetros volumétricos geralmente têm vida útil longa e apresentam menores erros mesmo para pequenas vazões, sendo desta forma recomendados quando se pretende combater a perda de receita e desperdício em instalações domiciliares.

A principal desvantagem desse tipo de hidrômetro é que apresenta maior sensibilidade aos sólidos em suspensão na água, que podem causar o travamento do movimento da peça móvel da câmara de medição, interrompendo a passagem da água ao imóvel. Além disso, apresentam custo mais elevado em relação aos hidrômetros de velocidade.

Estão disponíveis nas classes metrológicas A, B, C, e D, nos diâmetros nominais normalizados de 15 mm a 100 mm e nos tipos pistão (êmbolo rotativo) e disco nutante (NIELSEN; TREVISAN; SACHET, 2003).

b) Hidrômetro de velocidade

Os hidrômetros de velocidade, também conhecidos como hidrômetros velocimétricos, hidrômetros taquimétricos ou hidrômetros inferenciais, convertem a velocidade de escoamento da água em números de rotações de uma turbina ou hélice que por sua vez é proporcional ao volume escoado através do medidor.

Segundo Shintate, Rego e Gondo (2006), os hidrômetros de velocidade podem ser do tipo rotor com pás (incidência tangencial) ou do tipo hélice (incidência axial).

Os hidrômetros de velocidade do tipo rotor com pás podem ser dotados de jatos únicos ou de jatos múltiplos, conforme a entrada da água na câmara que contem o rotor seja feita respectivamente através de um orifício único ou de vários orifícios. Estão disponíveis nas classes metrológicas A, B e C e nos diâmetros nominais normalizados de 15 mm a 100 mm (jatos únicos) e de 15 mm a 50 mm (multijato).

Os hidrômetros de velocidade constituídos de hélice são utilizados para medição de vazões maiores, que ocorrem em geral em estabelecimentos industriais, edifícios públicos ou edifícios de apartamentos com grande demanda de água. Um dos tipos mais conhecidos e utilizados denomina-se Woltmann, que também podem ser

empregados para medições em adutoras, reservatórios, estações de tratamento, como já estudado no item 3.4 - macromedidores.

Estão disponíveis nas classes metrológicas A e B e possuem diâmetro nominal compreendido geralmente entre 50 e 500 mm. As vazões admissíveis oscilam nesses diâmetros, entre 20 e 3.000 m³/h.

3.5.1 Características metrológicas

Os hidrômetros, após certo tempo de serviço, têm suas peças desgastadas, a matéria em suspensão adere às partes internas e pouco a pouco estará afetada a exatidão do aparelho (COELHO, 2009).

Os principais fatores que afetam a exatidão do hidrômetro ao longo do tempo de serviço são:

- Qualidade da água;
- Regime de funcionamento do sistema de abastecimento;
- Projeto e qualidade do hidrômetro utilizado;
- Padrão de instalação.

A precisão dos hidrômetros depende da água que circula através dele. Em outras palavras, o erro de qualquer tipo de medidor de água não é constante e é variável ao longo da faixa de medição. Para médias e altas vazões as variações são mínimas, mas para baixas vazões a curva de erro é acentuada até atingir a vazão mínima (ARREGUI; CABRERA Jr.; COBACHO, 2006).

Uma das principais características metrológicas se refere aos erros máximos permitidos a serem cumpridos pelos medidores de água. Outra classificação relacionada é com base no fluxo de trabalho, apesar de erros máximos admissíveis são as mesmas para cada uma dessas duas classes.

Portanto não se trata de distintos erros máximos permitidos, mas sim de vazões distintas de trabalho.

Para tratar este tema é necessário conhecer algumas definições relacionadas:

- Vazão (q): quociente de volume que passa através do medidor e o tempo que demora em fazê-lo.
- Vazão permanente (q_p): também conhecida como vazão nominal (q_n), é a vazão requerida para o bom funcionamento do medidor.
- Vazão de sobrecarga (q_s): vazão na qual se necessita que o medidor de água opere satisfatoriamente por certo período de tempo sem deteriorar-se. Seu valor é o dobro do valor da vazão permanente (q_p).
- Vazão mínima ($q_{mín}$): vazão mais baixa de onde se requer que o medidor proporcione indicações, dentro do erro máximo permitido.
- Faixa ou intervalo de vazões: intervalo limitado pela vazão de sobrecarga (q_s) e pela vazão mínima (q_m) em que as indicações dos medidores não devem estar sujeitas a um erro que ultrapasse os erro máximos permitidos.
- Vazão de transição (q_t): valor de vazão que se encontra entre a sobrecarga e a mínima. Divide o intervalo de vazões em duas zonas: a superior e a inferior, cada uma das vazões se caracteriza por um erro máximo permissível distinto.
- Vazão inicial: valor de vazão em que o medidor começa a funcionar de maneira estável, sem estar sujeito a uma exigência de cumprimento dos erros máximos admissíveis.
- Curva de erro: gráfico que mostra a indicação do medidor em função das vazões. Emprega-se uma escala logarítmica, onde a vazão é representada no eixo das abscissas e o erro, expresso em porcentagem, é representado no eixo das ordenadas.
- Curva de perda de pressão (carga): gráfico que mostra as perdas de pressão em função das vazões, onde as vazões são representadas no eixo das abscissas e as perdas de pressão no eixo das ordenadas.

Conforme observado na Figura 3.12 os erros máximos permitidos na zona inferior são dados pelo intervalo desde q_{min}, inclusive, até q_t, exclusive, é ± 5% e os erros máximos permitidos na zona superior são dados pelo intervalo desde q_t, inclusive, até q_s, exclusive, é ± 2%.

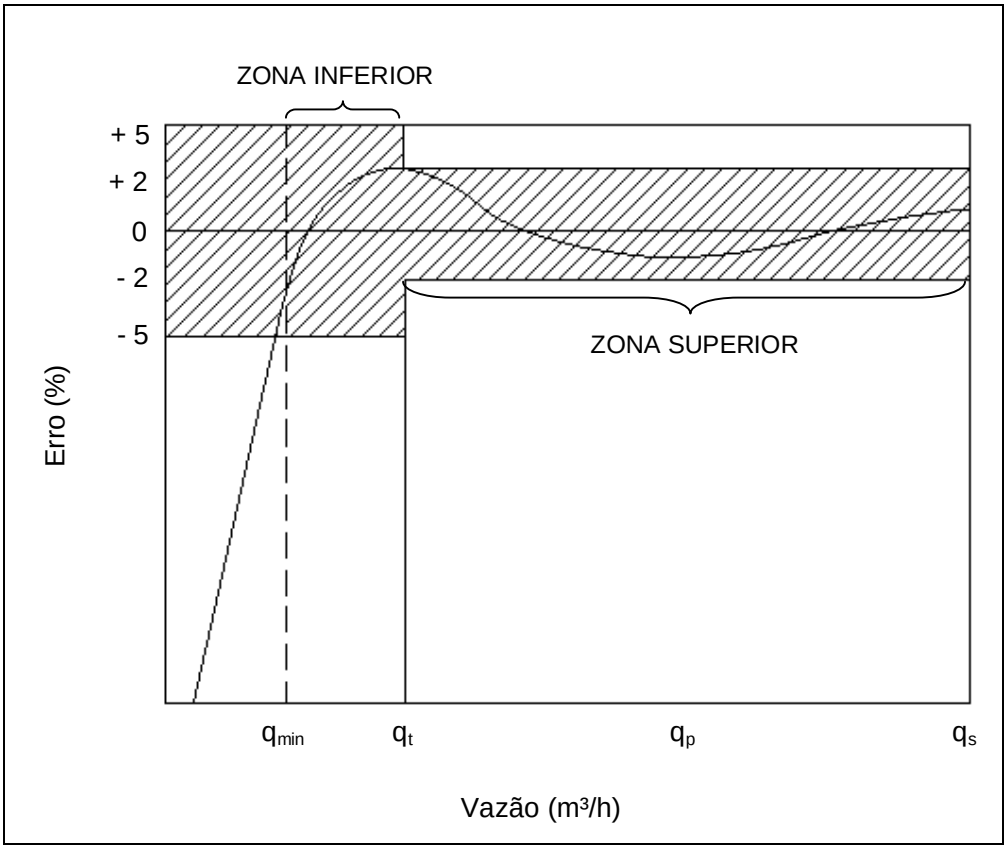

Figura 3.12 – Curva característica do hidrômetro. Fonte: Adaptado de CASTRO (2004).

Internacionalmente, os medidores de água estão divididos em quatro classes metrológicas, de acordo com os valores de q_{min} e q_t, conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classificação dos medidores de água de acordo com os valores qmín e qt (m3/h)

Classe	Valor numérico da designação N do medidor	
	N<15	**N≥15**
Classe A		
q_{min}	0,04 N	0,08 N
qt	0,10 N	0,30 N
Classe B		
q_{min}	0,02 N	0,03 N
qt	0,08 N	0,20 N
Classe C		
q_{min}	0,01 N	0,006 N
qt	0,015 N	0,015 N
Classe D		
q_{min}	0,0075 N	-
qt	0,0115 N	-

Fonte: CASTRO (2004).

Em função da classificação são calculados como exemplo os valores de q_{min}, q_t e q_p para medidores de N 1,5; N 2,5 e N 3,5, conforme apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Classificação dos medidores de água para medidores N 1,5; N 2,5 e N 3,5 (m^3/h). Fonte: CASTRO (2004)

Classe	N 1,5			N 2,5			N 3,5		
	q_{min}(l/h)	q_t(l/h)	q_p(l/h)	q_{min}(l/h)	q_t(l/h)	q_p(l/h)	q_{min}(l/h)	q_t(l/h)	q_p(l/h)
A	60	150	1500	100	250	2500	140	350	3500
B	30	120	1500	50	200	2500	70	280	3500
C	15	22,5	1500	25	37,5	2500	35	52,5	3500
D	11,25	17,25	1500	18,75	28,75	2500	26,25	40,25	3500

Fonte: CASTRO (2004).

Na Figura 3.13 pode-se observar que o medidor de classe D, pode registrar em quase todo seu intervalo de trabalho, erros máximos de 2%, além de iniciar com uma vazão mínima (q_{min}) menor. De acordo com essa ordem de importância seguem-se as classes C, B e finalmente a A.

O medidor de classe B é o mais empregado na maioria das ligações residenciais. Contudo, em locais que são detectados consumos com vazões muito baixas recomenda-se o emprego de medidores de classe C, que começa a registrar na metade da q_{min} da classe B.

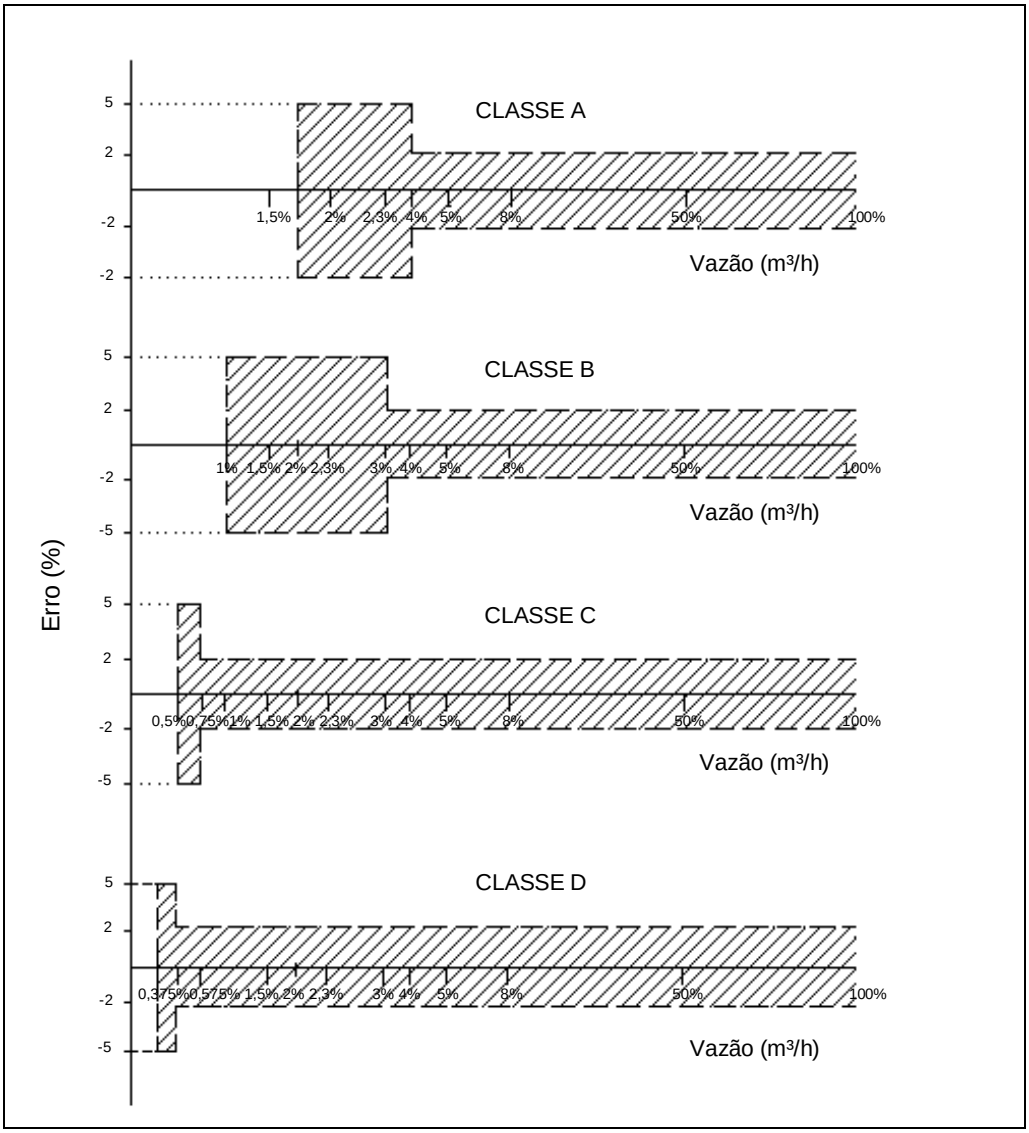

Figura 3.13 – Classes metrológicas A, B, C, D (N < 15). Fonte: Adaptado de CASTRO (2004).

3.6 PRINCIPAIS CAUSAS DAS PERDAS

3.6.1 Perdas reais

As perdas reais ocorrem em praticamente todo o sistema de abastecimento. Não é possível sua eliminação total e mesmo em uma rede de distribuição de água recém instalada pode ocorrer um volume mínimo de perdas reais (volume de perdas reais inevitáveis). No entanto, o volume perdido de água depende das características gerais da rede de distribuição e da política de gestão de vazamentos empregada pela companhia de água (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

A seguir serão descritas as principais causas das perdas reais:

- Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios:

Os reservatórios setoriais, nos sistemas de distribuição de água, têm a função de regularizar as vazões de consumo horárias de um setor de abastecimento. O seu funcionamento normal exige flutuações do nível d'água ao longo do dia, de maneira a chegar aos níveis mais baixos no início da noite e a partir daí iniciar a operação de carregamento, para que ao início do dia esteja com seu volume máximo.

Os extravasamentos dos reservatórios geralmente ocorrem no período noturno devido à deficiência ou a inexistência de automação de unidades de bombeamento e controle de nível de reservatórios. Por esse motivo, há uma grande dificuldade na obtenção de dados sistematizados para a quantificação dos volumes perdidos por extravasamento, recorrendo-se a estimativas nem sempre criteriosas para avaliação dessas perdas.

Nos reservatórios também podem ocorrer vazamentos através de rachaduras ou fissuras, causados por falhas estruturais devido à má qualidade dos materiais e má execução da obra, além do envelhecimento dos materiais.

- Vazamentos em Adutoras

Os vazamentos em adutoras geralmente ocorrem devido às pressões elevadas e sua variação, que pode causar fadigas nas instalações hidráulicas e as manobras, executadas de forma rápida, pode causar fraturas nas tubulações. Outros fatores também podem causar os vazamentos nas adutoras, tais como, transientes hidráulicos, falhas de operação, movimentação do solo, envelhecimento dos materiais, baixa qualidade de mão-de-obra e materiais, deficiência de projeto, manutenção ineficiente e intensidade de tráfego de veículos.

- Vazamentos em Redes e Ramais

Os vazamentos nas redes de distribuição e nos ramais prediais ocorrem de forma semelhante aos vazamentos nas adutoras. Os principais fatores que causam os vazamentos são: i) pressões elevadas, ii) transientes hidráulicos, iii) variação da pressão, iv) má qualidade de materiais dos componentes dos sistemas, v) má qualidade da mão-de-obra utilizada na implantação e manutenção dos sistemas, vi) inadequação do ferrule, vii) falhas de operação, (viii) intervenção de terceiros, ix) corrosividade da água e do solo, x) intensidade de tráfego, xi) inexistência de política de detecção de vazamentos não-visíveis, xii) deficiência no reaterro dos ramais.

Em função da sua extensão e condições de implantação, as redes de distribuição e os ramais prediais são as partes dos sistemas onde ocorrem o maior número de vazamentos e o maior volume perdido. Estudos efetuados na Região Metropolitana de São Paulo concluíram que dos vazamentos consertados na distribuição, cerca de 90% ocorreram nos ramais prediais e cavaletes, ficando os restantes 10% para as redes primárias e secundárias. Em termos de vazão, estima-se que os vazamentos surgidos nas redes primárias e secundárias tenham vazões significativamente superiores aos ocorrentes nos ramais e cavaletes, podendo fazer com que a proporção relativa, em volume, seja diferente daquela observada em relação ao número de casos.

A Figura 3.14 apresenta os tipos e as definições dos vazamentos existentes em rede e ramal.

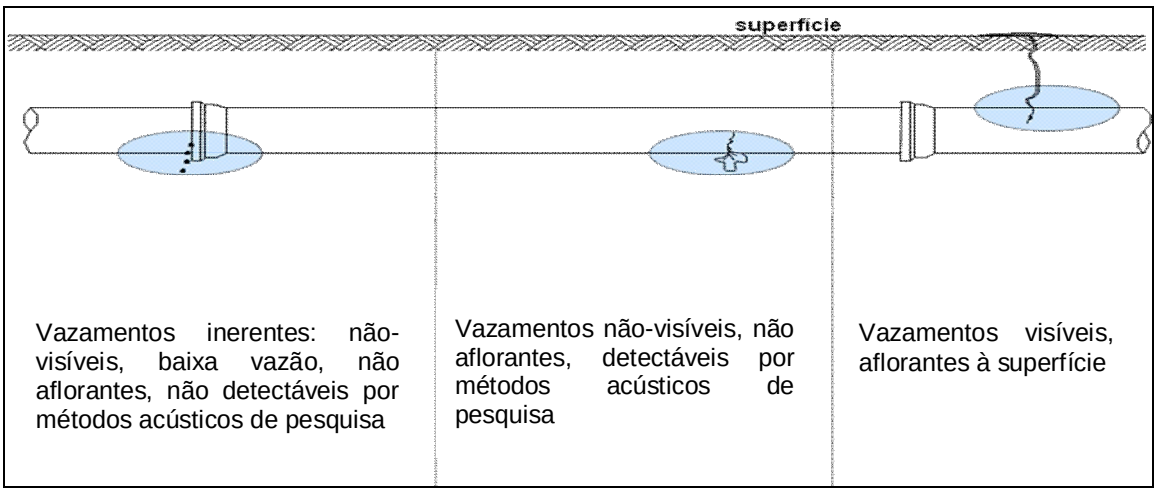

Figura 3.14 – Tipos de vazamento em rede e ramal. Fonte: LAMBERT; THORTON (2002).

3.6.2 Perdas aparentes

Em comparação às perdas reais, as perdas aparentes têm maior efeito negativo na geração de receitas, uma vez que afetam diretamente o faturamento da companhia. Um fator importante em relação às perdas aparentes é que subestimar seu volume resultará em superestimar o volume das perdas reais na auditoria das águas. Isso pode desencaminhar o correto planejamento do controle de perdas de água focando-se em ações na área operacional (detecção e reparos de vazamentos, por exemplo) enquanto que essas ações deveriam ser focadas na área comercial.

A seguir serão descritas as principais causas das perdas aparentes:

- Erro dos medidores de vazão

Num sistema de abastecimento de água é possível conhecer, diagnosticar e avaliar situações operacionais através da macromedição e/ou da micromedição da vazão de água.

A macromedição refere-se ao conjunto de medições de vazão, pressão e nível de reservatório efetuadas nos sistemas de abastecimento de água, desde a captação no manancial até imediatamente antes do ponto final de entrega para o consumo. Os pontos de medição podem ser permanentes ou temporários, monitorados à distância ou localmente.

O macromedidor pode apresentar, eventualmente, uma imprecisão que se poderia dizer natural, que varia de acordo com o tipo de macromedidor. Um macromedidor bem instalado e operando em condições de vazão adequadas, apresenta uma faixa de variação da precisão, em geral, entre 0,5% e 2%, para mais ou para menos. Essa imprecisão gera os erros de medição, porém os erros são potencializados devido a vários tipos de problemas, tais como:

i) Instalação inadequada, não obedecendo às especificações das normas.

ii) Descalibração do macromedidor.

iii) Dimensionamento inadequado, operando com baixas velocidades.

iv) Amplitude grande entre as vazões máximas e as mínimas.

v) Problemas com a instrumentação.

vi) Problemas na transmissão de dados, quando se utiliza telemetria.

A micromedição refere-se à medição dos volumes consumidos pelos clientes da companhia de saneamento, cujo valor será objeto da emissão da conta a ser paga pelos clientes.

Os hidrômetros são largamente utilizados na micromedição e é através dele que ocorrem as maiores fontes de evasão de volumes não-faturados de uma companhia de saneamento. Geralmente os erros nas medições dos hidrômetros que fazem marcar menos do que efetivamente foi consumido são causados pelos seguintes fatores:

vii) Envelhecimento do hidrômetro; que acarreta desgastes nas engrenagens internas, que passam a trabalhar fora das condições especificadas em projeto.

viii) A qualidade da água distribuída, especialmente na ocorrência de óxidos oriundos da corrosão dos tubos.

ix) Inclinação lateral do hidrômetro.

x) As características do perfil de consumo dos imóveis, onde dificilmente ocorrem vazões próximas à nominal do hidrômetro, situando-se na maior parte das vezes na faixa inferior à vazão mínima. Mais conhecido como “efeito caixa d’água”, nos imóveis onde existem caixas d’água domiciliares, faz com que as vazões que passam pelo hidrômetro sejam menores do que as ocorrentes no ponto de consumo

interno da residência, devido ao amortecimento proporcionado pelo volume da caixa d'água. Sendo menores as vazões, elas geralmente se situam nas faixas inferiores da curva de precisão do hidrômetro, onde se tem erros muito mais significativos.

- Gestão Comercial:

A gestão comercial de uma companhia de saneamento compreende os processos, sistemas e recursos humanos que permitem a contabilização das vendas de água tratada e seu faturamento e é o que viabiliza as receitas e a torna financeiramente sustentável. A seguir são relacionadas às questões relativas à gestão comercial:

i) Falha do Cadastro Comercial, envolvendo dados incorretos de localização da ligação, tipos de uso (residencial, comercial ou industrial) e demais informações que caracterizam o cliente para a apuração do consumo, aplicação de tarifa e emissão da conta. A morosidade do cadastramento de novas ligações no sistema comercial também causa uma perda de faturamento.

ii) Ligações clandestinas executadas na rede de distribuição no próprio ramal, mas antes do hidrômetro ou diretamente no tubo da rede; e ligações inativas suprimidas do cadastramento comercial, mas que se tornaram ativas novamente, por ação do cliente, sem que a companhia tenha sido comunicada desse fato.

iii) Fraudes são intervenções feitas nos hidrômetros, com o objetivo de medir apenas uma parcela do consumo efetivo do imóvel. Os casos mais comuns de fraude são: rompimento do lacre e inversão do hidrômetro, execução de *by pass* no hidrômetro, violação do hidrômetro e inserção de algum obstáculo (arame, por exemplo), para impedir a rotação da turbina do hidrômetro.

iv) Inexistência de hidrometração das ligações, ficando as ligações sem hidrômetro e com faturamento fixo mensal.

v) Roubo de água em hidrantes de incêndio ou em quaisquer pontos dos sistemas de redes de distribuição.

vi) Política tarifária.

vii) Falta de acompanhamento e controles sistematizados dos consumos medidos faturados.

3.7 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS REAIS

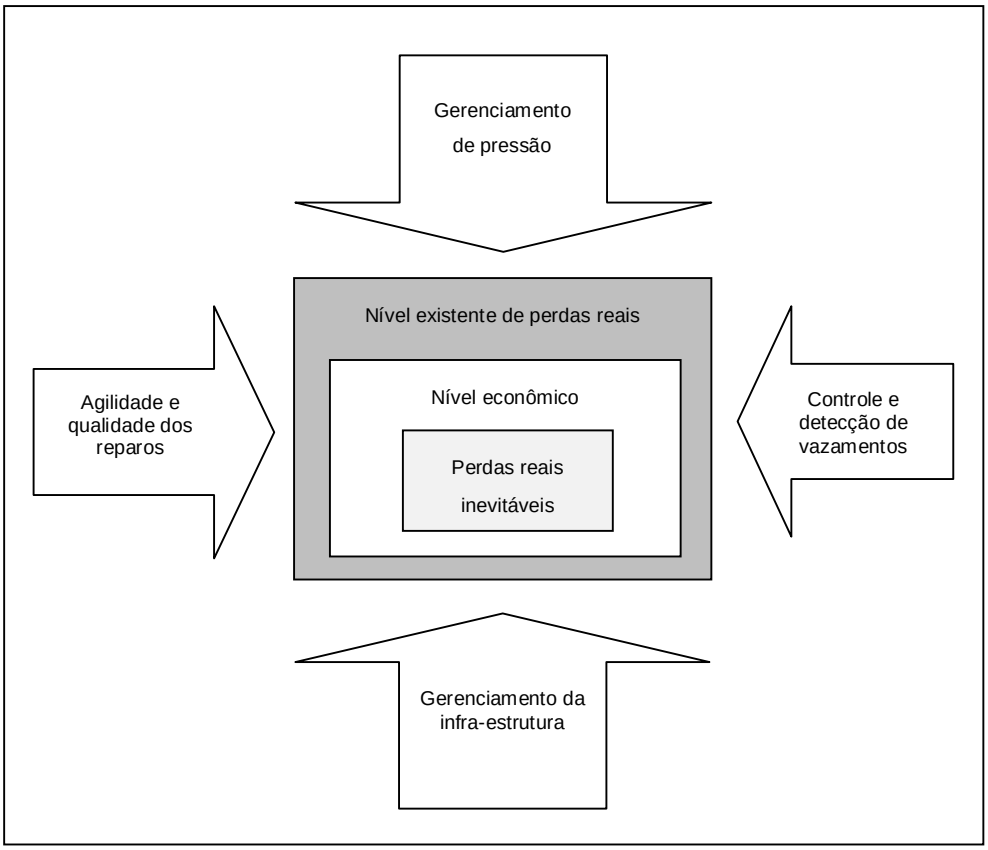

Figura 3.15 - Componentes do controle de perdas reais. Fonte: LAMBERT; THORTON (2002).

3.7.1 Controle e detecção de vazamentos

Controle ativo dos vazamentos

A metodologia mais utilizada no controle ativo de vazamentos é a pesquisa de vazamentos não-visíveis, realizada através de métodos acústicos de detecção de vazamentos, que dependem do ruído (som ou vibração) gerado pelo vazamento de

água na tubulação (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2012), com o emprego dos seguintes equipamentos:

- haste de escuta: composta por um amplificador mecânico ou eletrônico, acoplado a uma barra metálica que capta ruído de vazamentos em acessórios da rede de distribuição de água. A haste de escuta não localiza o vazamento, apenas indica a sua existência nas proximidades. As figuras abaixo apresentam uma haste de escuta (Figura 3.16) e um operador executando pesquisa de vazamento com haste de escuta (Figura 3.17).

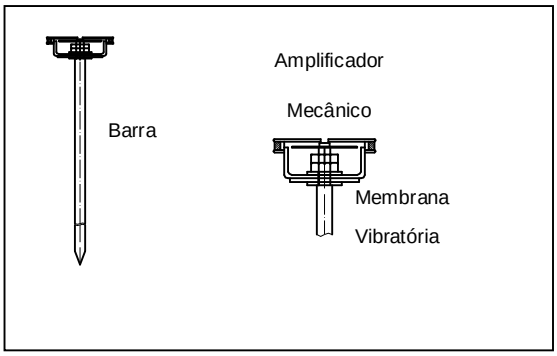

Figura 3.16 – Haste de escuta. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.17 – Pesquisa de vazamento com haste de escuta. (Fonte: Sabesp).

- geofone eletrônico: detector acústico de vazamentos composto de sensor, amplificador, fones de ouvido e filtros de ruídos, destinado a identificar os ruídos de vazamentos a partir da superfície do solo). A Figura 3.18 e a Figura 3.19 apresentam, respectivamente, um geofone eletrônico e um operador em pesquisa de vazamento com a utilização desse equipamento.

Figura 3.18 - Geofone eletrônico. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.19 - Pesquisa de vazamento com geofone eletrônico. (Fonte: Sabesp).

- geofone mecânico: detector acústico de vazamentos sem filtros de ruídos e mais simples do que o eletrônico (Figura 3.20).

Figura 3.20 - Geofone Mecânico. (Fonte: Sabesp).

- correlacionadores de ruído: composto de uma unidade principal processadora, pré-amplificadores e sensores, que identifica a posição do vazamento entre dois pontos determinados de uma tubulação (Figura 3.21 e Figura 3.22). Utilizado geralmente para detectar vazamentos em trechos onde o uso do geofone é mais difícil (ruas muito movimentadas) ou para confirmar algum apontamento do geofone. A correlação é baseada na diferença de tempo que o ruído de vazamento leva para atingir cada um dos sensores. Essa diferença de tempo é denominada tempo de retardo.

Figura 3.21 - Correlacionador de ruídos. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.22 - Correlacionador de ruídos. (Fonte: Sabesp).

- equipamentos auxiliares: são equipamentos complementares na detecção de vazamentos não-visíveis, tais como, barra de perfuração, manômetro, trena ou roda de medição, detector de massas metálicas e detectores de tubulações metálicas e não metálicas. A Figura 3.23, Figura 3.24, Figura 3.25 e Figura 3.26 apresentam respectivamente barra de perfuração, manômetro, trena ou roda de medição e detector de massas metálicas.

Figura 3.23 - Barra de perfuração. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.24 - Manômetro. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.25 - Trena ou roda de medição. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.26 - Detector de massa metálica. (Fonte: Sabesp).

Essa atividade reduz o tempo de vazamento, ou seja, quanto maior a freqüência da pesquisa, maior será a taxa de volume anual recuperado. Uma análise de custo - beneficio pode definir a melhor freqüência de pesquisa a ser realizada em cada área.

O controle ativo de vazamentos atua diretamente no principal fator de perdas reais, permitindo uma significativa recuperação de água disponível, com reflexos diretos nas políticas financeiras, técnicas e ambientais da empresa.

3.7.2 Vazamentos em reservatórios

Podem ocorrer vazamentos não visíveis nos reservatórios de concreto armado através de trincas ou na junção das tubulações com a própria estrutura. A melhor técnica para a detecção desses vazamentos são testes de estanqueidade com o fechamento das válvulas de entrada e saída do reservatório ou através de técnicas especiais, tais como raios infravermelhos, métodos geofísicos, etc. Depois de identificado o problema, devem ser reparadas as fissuras ou revestir novamente a estrutura interna do reservatório.

3.7.3 Agilidade e qualidade dos reparos

Após a identificação da existência de um vazamento, o tempo gasto para sua efetiva localização e seu estancamento é um ponto chave do gerenciamento de perdas físicas. Além da agilidade dos serviços, é importante assegurar que o reparo seja bem realizado para que o vazamento não seja reincidente horas ou dias após a repressurização da rede de distribuição. Muitas vezes o tempo de reparo tem maior relação com questões de organização e disponibilidade de recursos financeiros do que com questões técnicas (PALAU; ARREGUI; CARLOS, 2012).

A magnitude das vazões dos vazamentos, como já observado, é composta pela somatória dos tempos do conhecimento, localização e reparos. Somando-se estes tempos e multiplicando-se pela vazão estimada, é obtido o volume de água perdida.

Desse modo, a agilidade e qualidade nos reparos são fatores preponderantes na diminuição das perdas reais, visto estarem diretamente ligadas à diminuição real dos vazamentos existentes. Quanto mais rápido um reparo, menor a perda real e consequentemente, as perdas totais.

Alguns fatores importantes devem ser considerados para que os reparos de vazamentos (Figura 3.27 e Figura 3.28) sejam ágeis e de qualidade:

- 90% dos vazamentos estão localizados no conjunto ramal/cavalete.
- A maior parte dos vazamentos em ramais se deve a má qualidade da mão-de-obra e do material utilizados.
- O número de conexões é fator real no surgimento de vazamentos.
- A utilização de equipamentos inadequados que causam o surgimento de novos vazamentos.
- Treinamento da mão-de-obra, utilização de materiais e procedimentos adequados diminuem o tempos, os retrabalhos e o surgimento de novos vazamentos.
- A priorização dos reparos é fator essencial na diminuição de perdas. (Ex.: A vazão do vazamento em um cavalete, na maioria das vezes é pelo menos dez vezes menor do que um vazamento em ramal).

Figura 3.27 – Reparo de vazamento. (Fonte: Sabesp).

Figura 3.28 – Reparo de vazamento. (Fonte: Sabesp).

3.7.4 Controle de pressão

As pressões a que está submetido o sistema de distribuição de água são um dos principais fatores que influenciam o número de vazamentos e vazão desses vazamentos. Por isso, o gerenciamento das pressões na distribuição de água, que traz uma ampla gama de benefícios, é fundamental para a redução das perdas reais (LAMBERT; THORNTON, 2012).

O gerenciamento das pressões se faz através do zoneamento piezométrico, que corresponde a divisão de um setor de abastecimento em zonas com comportamento homogêneo dos planos de pressão. Esses planos piezométricos podem ser definidos pela cota do nível d'água de um reservatório enterrado, apoiado ou elevado, pela cota piezométrica resultante de uma elevatória ou *booster* ou pela cota piezométrica resultante de uma válvula redutora de pressão (VRP). A seguir serão detalhadas essas ações de gerenciamento de pressão.

3.7.5 Setorização

A setorização de um sistema de abastecimento de água refere-se geralmente ao zoneamento clássico a partir do reservatório apoiado ou enterrado, configurando-se basicamente duas zonas de pressão, a baixa, abastecida pelo reservatório apoiado ou enterrado e a alta, abastecida pelo reservatório elevado ou por estação elevatória.

A setorização inicia-se na fase de projeto de setor de abastecimento estabelecendo-se um adequado zoneamento piezométrico que atenda as pressões máximas estáticas e mínimas dinâmicas determinadas pela norma brasileira, correspondentes respectivamente a 500 kpa (50 mca) e 100 kpa (10 mca).

Nos casos em que a topografia da região apresentar grandes desníveis, pode ocorrer que apenas duas zonas de pressão (zona baixa e alta) não atendam os limites estabelecidos por norma. Uma solução seria a criação de mais uma zona de pressão (zona média) a partir de outro reservatório, porém seria uma solução muito

onerosa. As alternativas mais indicadas para solucionar esse problema são as instalações de VRPs e de *boosters* de rede, que se forem bem especificados e operados, apresentam boa relação custo-benefício.

3.7.6 Válvulas redutoras de pressão (VRPs)

A utilização de válvulas redutoras de pressão (VRPs) no setor, conforme se observa na Figura 3.29, realiza-se através da criação de um subsetor definido pelo fechamento de válvulas limítrofes, em condições de operação que assegurem a estanqueidade da área.

Figura 3.29 – Válvula redutora de pressão. (Fonte: Sabesp).

Além disso, o emprego das VRPs diminui o surgimento de novos vazamentos em função de pressões elevadas, diminui a vazão de vazamentos existentes e reduz a freqüência de rompimentos na rede de distribuição (EPA, 2005).

Abrangem áreas onde as pressões médias estejam acima do estabelecido pela norma, que se situa entre 100 KPa (10 mca) de pressão dinâmica e 500 KPa (50 mca) de pressão estática. Importante salientar que essas pressões são as limites, podendo as pressões de trabalho adequar-se a cada situação.

Definem-se a área de atuação das VRPs em função de: i) pressão estática/pressão dinâmica, ii) extensão da rede, iii) frequência de vazamentos, iv) medição da vazão e pressão em pontos críticos, v) levantamento de dados dos pontos principais (*logger*), vi) clientes especiais, vii) dimensionamento da vazão (Q) da VRP, viii) definição das regras de operação, visando a vazão mínima noturna.

As VRPs normalmente são instaladas em um *by pass* da tubulação principal, guarnecidas por registros de bloqueio a montante e a jusante para as manutenções. Na tubulação principal também é instalada uma válvula para trabalhar normalmente fechada, só sendo aberta em situações de manutenção ou emergência operacional.

Na área de atuação da Diretoria Metropolitana da Sabesp, conforme observa-se na Figura 3.30, em 2011, operavam um total de 1003 VRPs instaladas em 11.898 km de redes de distribuição de água, o que representa cerca de 38% de redes cobertas por VRPs (SABESP, 2011).

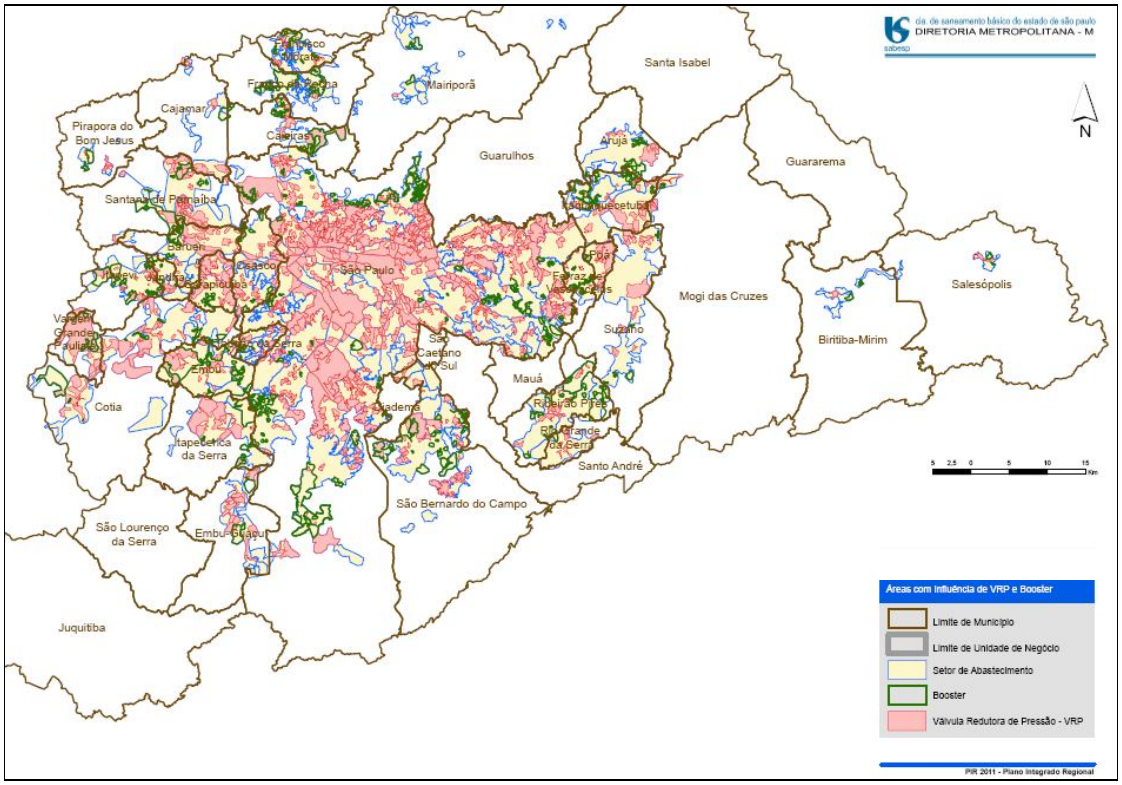

Figura 3.30 – Área de influência de VRPs e Boosters na RMSP. Fonte: Sabesp(2011).

3.7.7 Boosters

A utilização de *booster* (Figura 3.31), em associação com VRP, permite otimizar o zoneamento piezométrico, explorando ao máximo o potencial de redução de pressão de uma VRP e reforçando a carga nos pontos mais altos que eventualmente ficarem com pressões muito baixas ou despressurizadas. Por estar diretamente vinculado a continuidade do abastecimento de uma área, qualquer falha no funcionamento de um *booster* pode causar graves problemas, afetando a população e aumentando o número de reclamações contra a companhia de saneamento. Por isso, a manutenção preventiva e a sinalização à distância são muito importantes para manter um adequado padrão operacional no local.

Conforme apresentado anteriormente na Figura 3.30, na área de atuação da Diretoria Metropolitana da Sabesp, em 2011, operavam 254 *boosters* instalados em 2.054 km de redes de distribuição de água, o que significa cerca de 5,7% de redes cobertas por *boosters* (SABESP,2011).

Figura 3.31 - *Booster*. (Fonte: Sabesp).

3.7.8 Gerenciamento da infraestrutura

O gerenciamento de infraestrutura está diretamente ligado ao conhecimento das condições dos sistemas de redes de distribuição, quanto à idade, materiais, manutenções preditivas e preventivas, instalação e manutenção de equipamentos de controle, procedimentos de trabalho, treinamento, etc.

O gerenciamento destas informações permite direcionar os recursos disponíveis para as áreas onde efetivamente apresentem os melhores resultados no fornecimento de água e consequentemente na diminuição das perdas reais.

Um dos componentes mais importantes na infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água são as tubulações das redes de distribuição. A vida útil das tubulações pode variar dependendo da qualidade do material empregado, das condições físico-químicas do solo, da mão-de-obra que executou os serviços e nos caso das tubulações metálicas, das proteções contra o fenômeno da corrosão.

Em geral, são considerados 50 anos de vida útil para tubulações primárias e secundárias, sendo necessário, decorrido esse tempo, o remanejamento da rede antiga substituindo-a por uma nova tubulação. A situação ideal seria que a companhia de saneamento tenha um programa de remanejamento anual de rede de cerca de 2% da extensão total, o que inclui a troca dos ramais existentes no trecho a ser substituído. Porém, a substituição da tubulação torna-se muito onerosa, já que em muitas áreas há a necessidade da utilização de métodos construtivos não-destrutivos.

O remanejamento de rede foca dois pontos importantes: i) a melhoria das condições hidráulicas dos tubos, evitando-se perdas de cargas muito elevadas devido às incrustações que se formam no interior das tubulações, ii) melhoria estrutural dos tubos, em que são substituídos os trechos com elevadas taxas de vazamento.

O Método de Inserção (*slip linning*), em que o tubo velho é limpo e um outro, de menor diâmetro, é inserido e puxado, ou empurrado para dentro, é um dos métodos não destrutivos mais utilizados para o remanejamento de redes.

O método mais utilizado para a reabilitação de tubulações envolve a limpeza e o revestimento de redes com a aplicação de material de argamassa de cimento e

epóxi. Ao melhorar as condições hidráulicas da tubulação, pode-se trabalhar com pressões mais reduzidas, contribuindo, de alguma forma, para a redução das perdas por vazamentos. (TARDELLI FILHO, 2006).

Nas tubulações metálicas a corrosão, geralmente, é do tipo galvânica, eletrolítica (correntes de fuga) ou bacteriológica. A implementação das medidas para a proteção da corrosão deve ser estudada caso a caso, para que a solução a ser adotada seja eficaz. As soluções mais comuns são: i) colocação de camada externa de proteção, ii) revestimento interno do tubo, iii) proteção catódica, iv) ajuste de pH.

Manutenções preventivas de acessórios das redes de água também são fundamentais para que os resultados de perdas mantenham-se dentro de patamares aceitáveis. As manutenções de válvulas, registros, hidrantes, taps, VRPs, *boosters*, etc., são extremamente importantes no contexto do controle de perdas reais, visto que são equipamentos que permitem a efetiva operacionalização do sistema.

As especificações de materiais, de equipamentos e de procedimentos têm como foco a melhor operacionalização do sistema, visando a criação de padronizações e a suas devidas aplicações no campo.

Tais especificações são normalmente fruto da observação diária das atividades operacionais, que espelham as vantagens e desvantagens de uma determinada técnica, material ou procedimento operacional.

Treinamento de mão-de-obra, tanto própria como terceirizada é essencial para a melhora da qualidade dos serviços executados e consequentemente da diminuição efetiva das perdas reais. Os custos em treinamento são amplamente compensados com a diminuição de número de serviços executados novamente num mesmo local.

A fiscalização e acompanhamento dos trabalhos executados são importantes fatores na diminuição de perdas reais, visto que procuram evitar que os trabalhos de execução ou reparos possam ser feitos de modo inadequado ou fora do padrão estabelecido, quer pela utilização de materiais não especificados quer pela execução de serviços de baixa qualidade.

A atualização cadastral é imprescindível na medida em que coloca todas as intervenções executadas nas redes de distribuição à disposição de consulta, permitindo o conhecimento dos detalhes existentes e/ou agregados nos sistemas.

Desse modo, as ações e intervenções que forem necessárias ficam calcadas em informações mais recentes e confiáveis.

Manobras e monitoramento dos equipamentos são fatores que podem influenciar de modo positivo ou negativo nas perdas reais, visto que sua execução pode trazer conseqüências diretas no surgimento e/ou no aumento ou diminuição da magnitude de vazamentos.

O controle das VRPs ou *boosters* é fundamental no controle das perdas reais e totais.

O controle do nível dos reservatórios setoriais é importante para evitar extravasamentos. Os extravasamentos em reservatórios de água tratada acontecem devido às falhas dos operadores, quando o acionamento das válvulas é manual, ou dos dispositivos automáticos de segurança operacional.

3.8 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS APARENTES

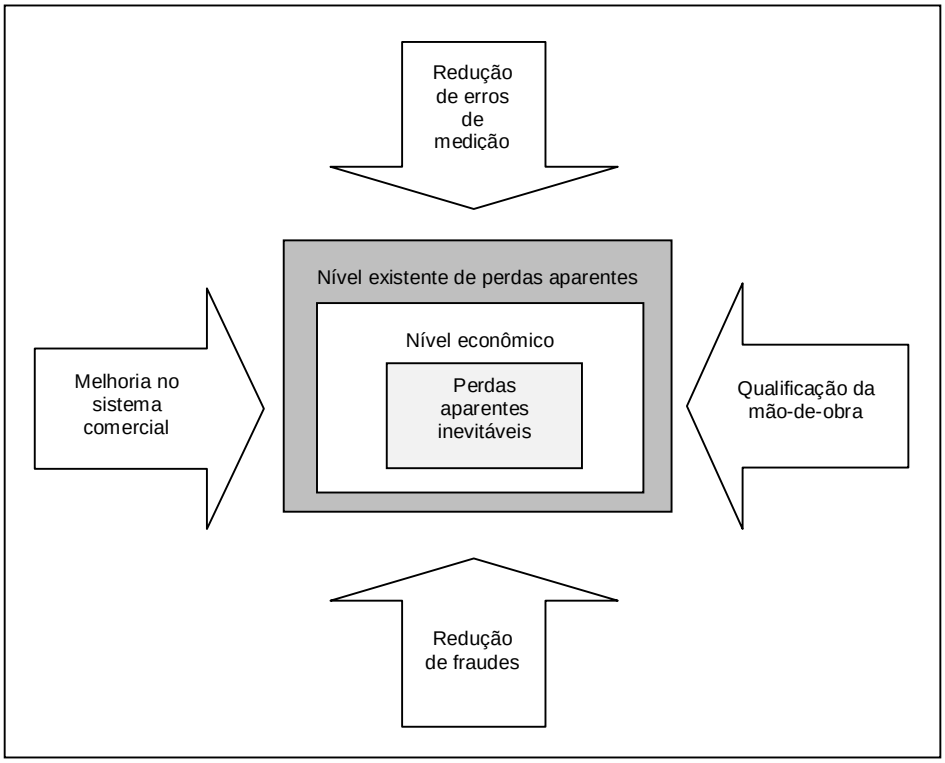

Figura 3.32 - Componentes do controle de perdas aparentes. Fonte: LAMBERT; THORTON (2002).

3.8.1 Incertezas de medição

Macromedidores

A macromedição é um fator importante no controle de perdas, visto que sua correta utilização tem influência direta nos índices de perdas.

Um macromedidor bem instalado e operando com vazões adequadas tem uma faixa de variação de precisão, geralmente, entre 0,5% e 2%, para mais ou para menos (TARDELLI FILHO, 2006).

Essas variações de precisão podem ser agravadas devido a diversos problemas, tais como:

- Instalação inadequada, não obedecendo aos trechos retos especificados a montante e a jusante,
- Descalibração do medidor,
- Dimensionamento inadequado,
- Amplitude grande entre as vazões máximas e as mínimas,
- Problemas físicos na instalação do primário, tais como incrustação, danos oriundos de cavitação, tomadas de pressão entupidas,
- Problemas com a instrumentação secundária,
- Problemas na transmissão de dados, quando se utiliza a telemetria.

A exatidão dos medidores está diretamente ligada à sua manutenção periódica e a calibração, já apresentado no item 3.4.1 (Calibração de Macromedidores), com o pressuposto de que a instalação do medidor esteja adequada (TARDELLI FILHO, 2006).

Micromedidores

O envelhecimento dos hidrômetros é uma das causas de perda gradativa de precisão de medição, aumentando assim as perdas aparentes. Por isso a troca dos mesmos é de grande importância num Programa de Redução de Perdas nas companhias de saneamento básico.

Há três situações básicas para a troca de hidrômetros (Figura 3.33):

i) Manutenção corretiva: caso em que há problemas de travamentos nas engrenagens, embasamento da cúpula ou violações que impedem o funcionamento do hidrômetro ou realização da leitura sendo necessária sua troca. Essa manutenção deve ser de total prioridade, pois pela ausência de leitura, a fatura é feita pela média histórica do imóvel, podendo desta forma haver a perda de faturamento.

ii) Manutenção preventiva: ocorre a troca depois de decorrido um tempo de instalação ou depois de totalizado um volume medido. Deve obedecer às regras estabelecidas pela companhia de saneamento, que podem ser por tipo de consumidor, consumos médios mensais, classe metrológica dos hidrômetros e política tarifária considerando critérios menos rígidos com consumo mensal inferior ao mínimo ou com benefícios de caráter social.

iii) Adequação: é a troca em função da inadequação do hidrômetro instalado para os consumos verificados na ligação. Pode-se avaliar a inadequação do hidrômetro, através do levantamento dos perfis de consumo da ligação e comparação com os parâmetros nominais do mesmo, principalmente hidrômetros de grande capacidade.

Figura 3.33 – Troca de hidrômetro. (Fonte: Sabesp).

Além das trocas de hidrômetros descritas anteriormente, outra ação de extrema importância para a redução da submedição é o acerto da inclinação daqueles que se encontram inclinados.

Conforme nota-se na Figura 3.34, existem hidrômetros que podem ser desinclinados, sem comprometer sua leitura, sendo uma atividade rápida e barata; e aqueles que não podem ser desinclinados sem comprometer o processo de leitura, pois o abrigo onde se localiza não está nos padrões exigidos pela companhia, nesse caso pode-se executar um novo abrigo do cavalete ou correções do cavalete, ou instalar hidrômetros especiais (Classe C) que funcionam inclinados e são mais aconselháveis para grandes consumidores ou ainda indica-se a instalação de

hidrômetros com visor inclinado lateralmente, ou seja, o abrigo do cavalete mesmo fora do padrão é possível fazer a leitura do hidrômetro.

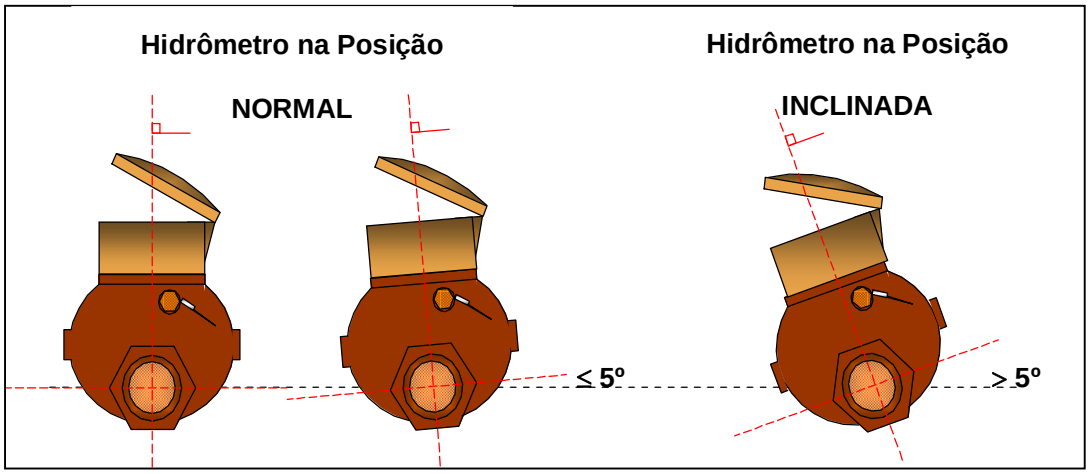

Figura 3.34 – Hidrômetro na posição normal e na posição inclinada. (Fonte: Sabesp).

3.8.2 Combate a fraudes

A detecção das fraudes pode ser feita através de denúncias da população, realização de inspeções dos hidrômetros e análises do histórico de consumo da ligação. Ao ser constatada a fraude, a postura pode ser jurídica, já que fraude é crime, ou administrativa, através de negociações com o cliente para solucionar a irregularidade e ressarcir os valores dos volumes perdidos.

As fraudes podem ser minimizadas através da realização de trabalho de conscientização da população sobre o problema, a utilização de lacres nos hidrômetros ou outro dispositivo que dificultem as ações fraudulentas. A Figura 3.35 apresenta adulteração do hidrômetro com a inserção de obstáculo para impedir a rotação da turbina do hidrômetro.

Figura 3.35 – Hidrômetro adulterado. (Fonte: Sabesp).

3.8.3 Melhoria do cadastro comercial

O aperfeiçoamento do sistema de gestão comercial deve ser uma ação contínua nas companhias, principalmente no que diz respeito ao cadastro das ligações e a apuração dos consumos dos clientes.

A gestão das atividades comerciais da companhia envolve desde o acatamento do pedido de novas ligações, cadastramento comercial da ligação após sua execução e programação das leituras, até a emissão de contas e a geração de relatórios gerenciais.

O cadastramento de novas ligações e atividades que detectem falhas no cadastro, ligações clandestinas e ligações suprimidas que foram reativadas sem o conhecimento da companhia é de extrema importância para a redução de perdas aparentes.

São comuns as falhas de comunicação entre cliente e companhia, quando ocorre a alteração do uso que podem ser de tarifas mais altas, como, por exemplo, de residencial para comercial. Sendo detectado o problema e executado o correto cadastramento, tem-se além do ganho financeiro, a apropriação de um volume que não era contabilizado.

Também são importantes as realizações de inspeções para a identificação de fraudes e ligações clandestinas e a implantação de programas específicos para levantamento de problemas cadastrais para a melhoria da gestão comercial e consequentemente a redução da perda financeira da companhia.

3.8.4 Qualificação da mão-de-obra

Na prestação dos serviços de abastecimento de água, o contato entre o cliente e o leiturista de hidrômetro da companhia é uma rotina comum, pois o leiturista torna-se um interlocutor da companhia quando surgem eventuais problemas com os hidrômetros.

O leiturista deve realizar corretamente a apuração do consumo mensal e saber avaliar variações elevadas de consumo, registrar indícios de fraudes ou alterações cadastrais para posteriores inspeções pelas equipes especializadas, além de apontar outras ocorrências, tais como falta d'água, problemas da qualidade da água, vazamentos, obstruções de esgoto, etc. Além disso, o atendimento ao cliente nas agências abrange explicações sobre a conta e procedimentos comerciais básicos, situação operacional (falta d'água), orientações sobre pesquisa de vazamentos internos, orientações e informações gerais sobre os serviços da companhia.

3.9 INDICADORES DE PERDAS

Segundo Alegre *et al* (2006), os indicadores de perdas servem como um instrumento de apoio às operadoras de saneamento na busca da eficiência e eficácia, tornando direta e transparente a comparação entre objetivos de gestão e resultados obtidos, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa.

Destaca-se, no entanto, que os indicadores não são propostos com o objetivo exclusivo de comparar sistemas de abastecimento de água distintos. Desta forma,

muitos podem estar voltados para funções gerenciais, tais como planejamento, adoção de ações para combate às perdas e controle de metas; ou funções operacionais, sejam elas na gestão da demanda, detecção de fugas e usos operacionais excessivos da própria operadora (MIRANDA, 2010).

Com propósito de se padronizarem os indicadores de desempenho e buscar consenso entre as companhias de saneamento ao redor do mundo, a IWA, através de discussões e conceituações desenvolvidas em grupos de trabalho, encontros técnico e científicos, publicou um manual de melhores práticas para avaliação do desempenho de sistemas de abastecimento de água denominado *Performance Indicators for Water Supply Services,* onde se incluem também os indicadores de perdas.

Nos itens a seguir são abordadas e discutidas a relevância e utilização dos indicadores mais importantes.

3.9.1 Índice percentual

O índice percentual relaciona o volume total anual fornecido (volume produzido ou disponibilizado ao sistema) e os volumes autorizados (faturados e não faturados). O sistema pode ser desde a captação até a entrega ao consumidor final, ou para parte do sistema, tendo como foco, por exemplo, apenas a rede de distribuição. Apresenta a seguinte formulação:

$$IP = \frac{V.Fornecido - V.Autorizado\,Faturado - V.Autorizado\ \ Não\,Faturado}{Volume\,Fornecido} x\,100 \quad (\%) \qquad (5)$$

Apesar da fácil compreensão pelos técnicos e população em geral, apresenta grande dificuldade de comparação entre diferentes sistemas ou setores de abastecimento, pois é influenciado pelo consumo *per-capita*, pela presença de grandes consumidores e pela variação de consumo.

Segundo Miranda (2010), algumas análises mostram que para sistemas com o mesmo volume de perdas, quanto maior o consumo, menor o valor percentual das perdas. Além disso, em sistemas que ocorrem intermitência do abastecimento com demandas reprimidas em determinadas áreas, o comportamento do consumo pode variar, afetando e causando a flutuação dos indicadores de perdas. Por esses motivos, atualmente tem sido proposto abandonar-se esse indicador como um indicador técnico para a gestão das perdas na distribuição de água (TARDELLI FILHO, 2006).

3.9.2 Índice de perdas por ramal

O indicador de perdas por ramais relaciona o volume perdido total anual com o número médio de ramais existentes na rede de distribuição de água, introduzindo um fator de escala para melhor comparar sistemas de diferentes tamanhos (TARDELLI FILHO, 2006). Sua expressão é a que se segue:

$$Índice\ de\ Perdas\ por\ Ramal = \frac{Volume\ Perdido\ Anual}{(n^{o}\ de\ ramais\ x\ 365)} \quad (m^{3}/ramal.dia) \qquad (6)$$

Seu foco são as perdas ocorridas nos ramais de ligações ativas e depende diretamente da densidade desses ramais. Devido à tendência em ocorrerem valores muito elevados em regiões com baixa ocupação urbana, recomenda-se sua utilização em áreas cujas densidades de ramais sejam superiores a 20 ramais/km.

Segundo TARDELLI FILHO (2006), a deficiência desse indicador é que a pressão de operação do sistema não é considerada como uma variável na comparação do desempenho do sistema, que influencia o comportamento das perdas reais.

Ressalta-se que em geral os gestores das operadoras apresentam esse indicador rateado entre as perdas reais e as perdas aparentes.

3.9.3 Índice de perdas por extensão de rede

O indicador de perdas por extensão relaciona o volume perdido total anual com a extensão da rede de distribuição de água existente no sistema em análise, apresentando a seguinte expressão:

$$\text{Índice de Perdas por Extensão de Rede} = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{(\text{Extensão da Rede } x\, 365)} \quad m^3 / km.dia \qquad (7)$$

Esse indicador relaciona as perdas ao longo da extensão da rede e apresenta valores altos em regiões com alta densidade demográfica. Por isso é recomendado sua utilização para áreas com densidade de ramais inferior a 20 ramais/km.

Apresenta a mesma deficiência do indicador anterior, que a não-consideração da pressão de operação da rede entre as variáveis consideradas e também pode ser partilhado entre perdas reais e aparentes.

3.9.4 Índice infraestrutural de perdas

O Índice Infraestutural de perdas (IIE), cuja tradução em inglês é *Infrastructure Leakage Index* (ILI), é um índice de performance proposto pela IWA relativamente novo e potencialmente muito útil (THORNTON, STURM, KUNKEL, 2008).

Trata-se de um indicador adimensional e relaciona o nível atual de perdas encontrado em um sistema e o nível mínimo de perdas esperado para o sistema (perdas inevitáveis). Os valores próximos a 1 correspondem a um bom gerenciamento da infraestrutura e à medida que o índice se afasta de 1, representam uma situação de gerenciamento em piores condições. É representado pela seguinte formulação:

$$\text{Índice Infra Estrutural} = \frac{\text{Volume Perdido Total Anual}}{\text{Volume Perdido Total Inevitável Anual}} \quad (\text{adimensional}) \qquad (8)$$

A vantagem desse indicador sobre os demais apresentados anteriormente é a consideração da pressão de operação da rede variável, muito importante com grande influência nas perdas. Vale destacar ainda que por ser adimensional facilita comparações entre sistemas de abastecimento entre diferentes companhias ao redor do mundo (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

Para se ter uma melhor compreensão do componente volume perdido total inevitável anual, correpondentente ao denominador, o mesmo depende fundamentalmente das condições da infraestrutura da rede. É uma situação ideal, aceitável, que envolve baixos índices de vazamentos inerentes, baixa freqüência de novos vazamentos, alto padrão de agilidade e qualidade no conserto de vazamentos (THORTON, 2002).

Miranda (2010) relata que dados pesquisados internacionalmente, em sistemas com eficiente gerenciamento de perdas, associados aos fatores locais com influência sobre as perdas reais, permitiram a quantificação de parâmetros para cada elemento de cálculo das perdas reais, possibilitando a determinação de uma equação para o volume perdido total inevitável anual. Os fatores locais considerados foram: a extensão da rede, a quantidade de ligações, a extensão média dos ramais após a divisa do lote e a pressão média de operação da rede.

A equação final para o volume perdido total inevitável anual apresenta-se a seguir:

$$\text{Volume Perdido Total Inevitável Anual} = (1{,}8xLm + 0{,}8xNL)\, x \frac{P}{1000} \quad (m^3/dia) \qquad (9)$$

Onde:

Lm = comprimento da rede (km)

NL = n° de ligações

P = pressão média (mca)

Recomenda-se que sua utilização seja aplicada para setores com mais de 5.000 ligações, pressões acima que 20 mca e densidade de ligações que não seja inferior a 10 lig/km.

3.10 BALANÇO HÍDRICO

As perdas de água no sistema de abastecimento podem ser determinadas através do Balanço Hídrico. O cálculo do Balanço Hídrico é baseado em medições ou estimativas da água produzida, importada, exportada, consumida ou perdida.

Devido à grande diversidade de formatos e definições usadas internacionalmente para o cálculo do Balanço Hídrico, houve uma urgente necessidade em se padronizar uma terminologia que fosse conhecida e empregada pelas companhias de saneamento do mundo todo.

Com esse propósito, a Força Tarefa de Perdas de Água da IWA elaborou recentemente uma abordagem padrão das melhores práticas internacionais para o cálculo do Balanço Hídrico, com a definição de todos os termos envolvidos.

O resultado desse trabalho resultou numa matriz onde são apresentadas as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos da água. Essa matriz representa o sistema de abastecimento desde a “Água que Entra no Sistema” construindo desta maneira a estruturação do sistema, ou parte do sistema, que se quer avaliar.

> O cálculo do balanço de águas corresponde ao principal modelo para a avaliação e controle das perdas. Os volumes envolvidos nas análises devem primeiramente ser calculados e eles próprios representam os indicadores primários das perdas. Somente a partir deles, evidentemente, é que podem construir quaisquer indicadores. A construção do balanço pode se dar de cima para baixo (método *top down*) ou de baixo para cima (método *botton up*). O primeiro consiste em se estimar as perdas reais a partir das perdas totais. Nesse caso,

> torna-se necessário que antes sejam determinadas as perdas aparentes, recorrendo-se aos melhores métodos disponíveis.
>
> Evidentemente que o cálculo completo do balanço das águas sem qualquer nível de erro é muito difícil, podendo haver um elevado nível de incerteza. Os erros ocorrem em especial, na determinação das perdas aparentes, em cenário como os que existem no Brasil, em que sequer os volumes consumidos são medidos, com grande parte sendo estimado (quanto maior o nível de medição mais preciso é o balanço de águas). Assim, um outro método recomendado adota o monitoramento contínuo da vazão mínima noturna para determinar as perdas reais. A partir daí, tendo-se o volume de perdas totais, o balanço é completado com o cálculo das perdas aparentes (método *botton up*). Ressalte-se que, mesmo empregando o primeiro método, é recomendável confrontar o resultado das perdas reais com aqueles acumulados via monitoramento da vazão mínima noturna (MIRANDA; 2006).

O Balanço Hídrico (Tabela 3.4) de um sistema de abastecimento de água é uma forma estruturada de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema e os seus valores absolutos ou relativos (TARDELLI FILHO, 2006).

Tabela 3.4 – Matriz do Balanço Hídrico.

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema (m^3/ano)	Consumo autorizado (m^3/ano)	Consumo autorizado faturado (m^3/ano)	Consumo faturado medido (inclui água exportada) (m^3/ano)	Água faturada (m^3/ano)
			Consumo faturado não-medido (estimados) (m^3/ano)	
		Consumo autorizado não-faturado (m^3/ano)	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) (m^3/ano)	Água não-faturada (perdas comerciais) (m^3/ano)
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) (m^3/ano)	
	Perdas de água (m^3/ano)	Perdas aparentes (m^3/ano)	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) (m^3/ano)	
			Incertezas de medição (macro e micromedição) (m^3/ano)	
		Perdas reais (m^3/ano)	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) (m^3/ano)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição (m^3/ano)	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios (m^3/ano)	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) (m^3/ano)	

Fonte: ALEGRE *et al (*2006).

Segundo Alegre *et al.* (2006), para a elaboração do balanço hídrico, os passos para o cálculo da água não faturada e as perdas de água são os descritos a seguir:

Passo 1: Determinar o volume de água que entra no sistema e introduzi-lo na Coluna A.

Passo 2: Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não-medido na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (Coluna C) e como água faturada (Coluna E)

Passo 3: Calcular o volume de água não-faturada (Coluna E) subtraindo a água faturada (Coluna E) à água que entra no sistema (Coluna A).

Passo 4: Definir o consumo não-faturado medido e o consumo não-faturado não-medido na Coluna D, registrar o total em consumo autorizado não-faturado na Coluna C.

Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não-faturado da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (Coluna B).

Passo 6: Calcular as perdas de água (Coluna B) como a diferença entre a água que entra no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B).

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não-autorizado e dos erros de medição (Coluna D), somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (Coluna C).

Passo 8: Calcular as perdas reais (Coluna C) subtraindo as perdas aparentes (Coluna C) às perdas de água (Coluna C).

Passo 9: Avaliar as parcelas das perdas reais (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de vazões noturnas, cálculos de frequência/vazão/duração dos vazamento, etc.), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais (Coluna C).

As definições que compõem o quadro de Balanço Hídrico são as que se seguem:

3.10.1 Água que entra no sistema

Segundo Tardelli Filho (2006), a água que entra no sistema refere-se ao volume anual de água introduzido na parte do sistema de abastecimento que é objeto do cálculo do Balanço Hídrico, sendo a partir do volume produzidos nas ETAs ou, para se ter uma análise mais restrita, a partir do volume entregue de um reservatório setorial ou derivação de adutora.

O cálculo do Balanço Hídrico é uma tarefa simples, caso o volume anual que entra no sistema seja totalmente medido. Os registros das medições devem ser coletados e as quantidades individuais anuais de entradas no sistema calculadas. Isso inclui tanto sistemas próprios como também a água importada de outros sistemas.

Se houver fonte não medida então a vazão deve ser estimada através do uso ou combinação do que se segue:

- Medidas temporárias de vazões usando-se dispositivos de medições, tais como hidrômetros de pequena capacidade.
- Teste de estanqueidade.
- Análise da curva da bomba, pressões e média das horas de bombeamento.

Thornton, Sturm e Kunkel (2008) ressaltam que a precisão e confiabilidade dos resultados do Balanço Hídrico são diretamente ligadas à precisão dos dados referentes aos volumes que entram no sistema. Recomenda-se que as precisões do medidor de entrada sejam testadas e sua calibração seja feita pelo menos uma vez ao ano.

3.10.2 Consumo autorizado

Consumo autorizado, conforme Tardelli Filho (2006) corresponde ao volume de água anual medido e/ou não-medido fornecido aos consumidores cadastrados, à própria companhia de saneamento (usos administrativos ou operacionais) e a outros que estejam autorizados a fazê-lo, para uso doméstico, comercial ou industrial, incluindo também a água importada.

O consumo autorizado pode incluir combate a incêndios, lavagem das redes de água e esgotos, lavagem das vias públicas, rega de praças públicas, alimentação de fontes, etc. Este consumo pode ser faturado ou não faturado, medido ou não medido, de acordo com a prática local (ALEGRE *et al.*, 2006).

3.10.3 Perdas de água

Perdas de água é o volume referente à diferença entre o volume que entra no sistema e o consumo autorizado.

No processo subsequente à auditoria das águas, tais volumes ainda se distribuem em perdas reais e perdas aparentes e correspondem aos volumes não contabilizados, incluindo os volumes não utilizados e os volumes não faturados, (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

3.10.4 Consumo autorizado faturado

Volume que gera receita potencial para companhia de saneamento, correspondente à somatória dos volumes constantes nas contas emitidas aos consumidores. Compõem-se dos volumes medidos nos hidrômetros e dos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados (TARDELLI FILHO, 2006).

3.10.5 Consumo autorizado não-faturado

Volume que não gera receita para a companhia de saneamento, sendo originário da utilização legal da água no sistema de distribuição. Correspondem aos volumes medidos (uso administrativo da companhia, fornecimento a caminhões pipa) e volumes não-medidos (combate a incêndios, lavagem de vias públicas, regas de praças públicas, lavagens de redes de água e esgotos, lavagem de reservatórios).

3.10.6 Perdas aparentes

Conforme Brasil (1999), as perdas aparentes correspondem aos volumes de água que são consumidos pelo cliente, porém não são contabilizados, associadas aos erros de medição, fraudes e falhas no cadastro comercial da companhia de saneamento.

As perdas aparentes muitas vezes são influenciadas por fatores sociais, culturais, políticos e financeiros nas áreas de ocorrência. Além disso, devem ser consideradas de grande relevância no que se refere à problemática das perdas, podendo em alguns casos representar até mais da metade do total de águas não contabilizadas. Apesar de as medidas corretivas serem em sua maioria de caráter não estrutural, a grande dificuldade para controle e redução das perdas aparentes encontra-se nas dificuldades da sua gestão.

A identificação e avaliação das perdas aparentes dependem de uma detalhada análise da sistemática de gestão comercial da companhia de saneamento, além de pesquisas de campo em amostras selecionadas de consumidores típicos e de identificação de fraudes e ligações clandestinas, abrangendo, em linhas gerais, os seguintes tópicos: avaliação do cadastro comercial, gestão de grandes consumidores, pesquisa de consumidores típicos, política de controle de cortes, supressões e ligações inativas, diagnóstico da gestão do parque de hidrômetros, pesquisa de fraudes, controle de áreas invadidas e favelas e consumos públicos e de prédios próprios.

3.10.7 Perdas reais

Perdas reais correspondem aos volumes de água perdidos com todo tipo de vazamentos nas tubulações das linhas de adução e da rede de distribuição e seus acessórios (juntas, registros, ventosas), extravasamentos e vazamentos em reservatórios, desde a entrada do sistema até o ponto de medição do cliente.

Esses vazamentos são divididos em visíveis e não visíveis. Os vazamentos visíveis são detectados facilmente devido ao seu afloramento e reparados rapidamente e os vazamentos não-visíveis, onde há maior dificuldade na sua identificação sendo indispensável a utilização de equipamentos e profissionais especializados para a detecção dos vazamentos, não havendo necessidade da espera do seu afloramento para ser reparado.

3.10.8 Consumo faturado medido (inclui água importada)

O cálculo do consumo faturado anual medido caminha lado a lado com a detecção de faturamento/pagamento e possíveis erros de manipulação de dados, informações que são exigidas numa fase posterior ao processo de auditoria das águas para a estimativa das perdas aparentes. O consumo de diferentes categorias de clientes/consumidores (doméstico, comercial ou industrial) deve ser extraído do cadastro comercial para posteriormente ser analisado e validado.

As informações anuais do consumo medido faturado, que são tomadas do sistema de faturamento, devem ser processadas a partir das leituras dos medidores, em um intervalo de tempo que garanta e assegure que o período medido de consumo faturado utilizado na auditoria seja compatível com o período auditado (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

3.10.9 Consumo faturado não-medido (estimados)

O consumo faturado não-medido pode ser obtido do sistema comercial de faturamento/cobrança. Com o intuito de analisar a precisão das estimativas, os clientes de uso doméstico cujos consumos não são medidos devem ser identificados e monitorados durante um certo período, seja pela instalação de medidores nas ligações não-medidas, seja através do monitoramento de uma pequena área, de uma quantidade de clientes não-medidos. Este último há a vantagem de que os clientes não estarão cientes de que serão medidos e então eles não mudarão seus

hábitos de consumos. No caso improvável de clientes não-domésticos não sejam medidos, levantamentos detalhados devem ser realizados para verificar a precisão da estimativa de valores de consumo faturado (THORNTON; REINHARD; KUNKEL, 2008).

3.10.10 Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.)

Na maioria das companhias de saneamento existe uma variedade de tipos de consumos não-faturados medidos. Nas médias e grandes companhias, tais ocorrências podem ser numerosas, ainda que esse consumo corresponda a uma pequena parte do volume de água fornecido ao sistema (AWWA, 2009).

A água consumida para usos operacionais da própria companhia de abastecimento, tais como lavagens de redes de água, redes de esgotos e reservatórios, descargas de rede devido a má qualidade da água e fornecimento a caminhões-pipa com controle volumétrico, além de limpezas de ruas enquadram-se nesssa categoria.

Qualquer consumo não-faturado que é medido pode ser quantificado através da obtenção de leituras dos medidores referente ao período de consumo. Caso haja medidores instalados para a água destinada aos usos operacionais, o ideal é que seja atribuída uma conta no sistema de faturamento que poderá ser lida e faturada regularmente, mesmo se a carga de faturamento seja zero (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

3.10.11 Consumo não-faturado não-medido (combate a incêndio, favelas)

Cosumo não-faturado não-medido refere-se ao volume de água utilizado para usos especiais, principalmente para o combate a incêndios e para os abastecimentos realizados a título de suprimentos sociais, ocupações irregulares e favelas (MIRANDA, 2010).

No que tange ao combate a incêndio, o corpo de bombeiros deve estar hábil para fornecer os dados necessários com relação ao combate a incêndios (número de

incêndios por ano, média de volume de água por incêndio, incêndio de grande proporção, volume de água utilizada) e às operações de treinamentos (quantidade de testes por ano, duração média dos testes, etc) para que a operadora possa fazer as estimativas dos volumes utilizados.

As ocupações irregulares, áreas invadidas e favelas são um grave problema social nas grandes cidades. A companhia de saneamento acaba arcando com o ônus desse problema, pois em muitos casos é impedida legalmente de implantar e operar sistemas de abastecimento de água nesses locais. Diversas companhias consideram legítimo estimar e contabilizar os volumes fornecidos como uso social, tendo sua parcela enquadrada no consumo não-faturado não-medido, associado a desenvolvimento de trabalho de educação ambiental para evitar o desperdício (TARDELLI FILHO, 2006).

3.10.12 Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro)

As fraudes ocorrem praticamente em todos os serviços públicos de água potável. Muitas vezes se dão por meio de ações deliberadas de clientes ou outras pessoas que retiram água do sistema sem pagar por isso. A natureza do uso não-autorizado em um sistema depende da combinação de diversos fatores, os quais podem-se relacionar: a saúde econômica da comunidade, o valor que a comunidade atribui a água como um recurso natural, as políticas de fiscalização nas companhias de saneamento e a vontade política da gestão das companhias em aplicar políticas eficazes para impedir o consumo não-autorizado (AWWA, 2009).

Os principais tipos de fraudes são:

- Inserção de arame, ou outro obstáculo, na relojoaria do hidrômetro, travas na turbina ou avarias diversas.
- Tubulação em paralelo ao hidrômetro (*by pass*).
- Hidrômetro invertido ou inversão do fluxo no hidrômetro por sistema de tubulações e registros.
- Ligação irregulares.

Segundo Brasil (1999), as principais falhas existentes nos cadastros comerciais das entidades operadoras que induzem ao uso não-autorizado dizem respeito a:

- Ligações não-cadastradas.
- Intervalo de tempo muito longo entre a execução da ligação e sua inclusão no cadastro comercial.
- Tipo de ligação incorreta (ligação de água mais esgoto cadastrada como ligação de água somente).
- Tipo de consumidor incorreto (consumidor comercial cadastrado como residencial, por exemplo).
- Existência de cadastro de consumidores com fonte própria de abastecimento.
- Falta de controle de ligações cortadas e suprimidas.

3.10.13 Incertezas de medição (macro e micromedição)

As perdas aparentes podem ocorrer devido a incertezas de medição causados pela imprecisão dos medidores. O ideal é que essas incertezas sejam expressas por faixas e não através do emprego de um valor único, prática comum em algumas operadoras para o cálculo do balanço hídrico (JONHSON, 2012). Medidores bem aferidos e adequadamente dimensionados, geralmente tem uma faixa de variação de precisão entre 0,5% a 2%, para mais ou para menos.

O grau de imprecisão dos hidrômetros devem ser estabelecidos com base em testes de uma amostra aleatória representativa do parque de hidrômetros. A composição da amostra deve refletir os diversos tipos e faixas etárias dos hidrômetros. Os testes são feitos, quer na bancada do próprio fabricante ou por operadores especializados. Hidrômetros de grande capacidade são geralmente testados no local instalado por meio de equipamentos de teste. Os erros dos macromedidores devem ser periodicamente avaliados, e os resultados devem ser incorporados à matriz do Balanço Hídrico, deduzindo ou agregando volumes aos valores medidos encontrados (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

3.10.14 Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)

> As perdas físicas na captação e na adução de água bruta correspondem à água utilizada para a limpeza geral, incluindo o poço de sucção, sendo em geral pequena em função das características hidráulicas do projeto e da qualidade da água bruta.
>
> O componente que merece mais atenção são os vazamentos na adução, em função do estado da tubulação e do material utilizado, sua idade, pressão, adequada execução da obra, elementos de proteção contra golpes e conseqüentes rompimentos em casos de interrupção do fornecimento de energia.
>
> Trata-se de um componente crítico do sistema de abastecimento, merecendo especial atenção no que diz respeito à manutenção sistemática de caráter preventivo. Ressalte-se que a manutenção preventiva, elétrica ou hidráulica, como o conserto da tubulação obstruída por incrustações ou reparos de vazamentos, muitas vezes não é feita ou é adiada para se evitar o desgaste político junto à população, pois paradas no sistema produtor provocam interrupções no fornecimento de água por muitas horas. Tal procedimento, no entanto, acaba comprometendo o comportamento do sistema, aumentando muitas vezes as perdas de carga e o consumo de energia, bem como as perdas e os riscos de interrupções mais demoradas por falhas e rompimentos.
>
> A magnitude das perdas na adução de água bruta é variável, função do estado das instalações e das práticas operacionais e de manutenção preventiva, sendo normalmente pouco expressivas no contexto geral, a não ser em adutoras de grande extensão e/ou deterioradas (BRASIL, 2003).

3.10.15 Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição

Vazamentos nas adutoras são as perdas que ocorrem devido aos rompimentos nas tubulações das adutoras e subadutoras, que transportam vazões a serem distribuídas pela rede de distribuição. Devido as grandes vazões transportadas nessas tubulações, recomenda-se que os rompimentos sejam rapidamente localizados e reparados, evitando-se assim grandes danos materiais causado pelo seu alto poder destrutivo.

Segundo Brasil (2003), vazamentos nas redes de distribuição são as perdas causadas por vazamentos na rede de distribuição e nos ramais prediais. As perdas

reais que ocorrem nas redes de distribuição, incluindo os ramais prediais, são muitas vezes elevadas, mas estão dispersas, fazendo com que as ações corretivas sejam complexas e onerosas, se não forem realizadas com critérios e controles técnicos rígidos.

Os vazamentos que ocorem tanto nas adutoras, subadutoras e redes de distribuição podem ser atribuídos à má qualidade dos materiais utilizados, erros operacionais (alta pressão nas redes, rápido fechamento de válvulas, transientes hidráulicos), corrosão, mão-de-obra não qualifcada e ausência de manutenção do sistema, entre outros.

Nas adutoras e subadutoras, a ausência de ventosas ou a sua falta de manutenção pode propiciar a ocorrência de transientes de pressão e consequente rompimento das tubulações. Também em sistemas pressurizados por bombeamento, deve-se atentar ao diagnóstico e proteção adequada contra transientes, em casos de paradas de funcionamento da bomba.

3.10.16 Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios

Os vazamentos nos reservatórios podem ser medidos através de testes de estanqueidade. Suas válvulas de entrada e de saída são fechadas e o nível da água é medido, por intermédio de um registro denominado *data logger* durante o período de ensaio. Os testes normalmente são realizados no período noturno para que sejam minimizadas as interrupções no abastecimento.

Os extravasamentos, embora raros, podem ser causados pela inexistência de dispositivos de alerta ou falhas operacionais nos equipamentos de controle instalados na entrada do reservatório.

3.10.17 Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição)

Ao contrário do que se pode imaginar, a maioria dos eventos de vazamentos e dos volumes perdidos ocorre nos ramais prediais e não nas redes de distribuição.

Segundo AWWA (2009), as redes de distribuição de água tendem a ser relativamente uniformes em seus materiais, projetos e instalações. Já os ramais e conexões às redes de distribuição causam maiores falhas, pois são constituídos por diversas peças e acessórios com grande variação de materiais e de mão-de-obra qualificada.

A operadora do sistema de abastecimento pode reduzir o número de ocorrências de vazamentos nos ramais estabelecendo-se padrões de qualidade uniformes para esses ramais, tanto no emprego do material quanto na contratação de mão-de-obra.

3.10.18 Água faturada

Representa a parcela de consumo autorizado que gera receita à companhia de saneamento, referente ao faturamento relativo ao fornecimento de água ao consumidor. Estão incluídos aí os volumes autorizados medidos, inclusive a água exportada, e os volumes autorizados não-medidos (estimados).

3.10.19 Água não-faturada

Água não-faturada é a porção de água no sistema de distribuição que não é faturada e, portanto, não gera receita para a concessionária. Consiste na soma do consumo autorizado não-faturado (medido e não-medido), perdas aparentes e perdas reais.

A IWA recomenda como melhores práticas, que a análise das perdas reais, através do método *top-down* aplicado no balanço hídrico, deve ser complementada com pelo menos por uma das metodologias abaixo:

- Análise das componentes das perdas reais, onde os volumes dos vazamentos são baseados na natureza das ocorrências e durações dos vazamentos.
- Análise das perdas reais através do método *bottom-up* utilizando-se os limites definitos e permanentes chamados de Distritos de Medição e Controle (DMC) através de análise das vazões mínimas noturnas (FARLEY, 2012).

Ambas as metodologias agregarão maior refinamento e confiança ao volume calculado das perdas reais.

3.11 REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Atualmente, mais de 40% da população mundial mora em áreas de recursos limitados de água e provavelmente este percentual crescerá para 50% até o ano 2025, já que a demanda de água também cresce (ALLIANCE, 2002).

Tendo em vista que entre 1900 e 1995 o consumo global de água cresceu em seis vezes (ALLIANCE, 2002), no que tange à questão do abastecimento de água o setor de saneamento ainda terá grandes desafios pela frente. Para que se atinja uma cobertura em nível mundial até 2025, quase 3 bilhões de pessoas precisam ser conectadas ao abastecimento de água e mais de 4 bilhões necessitam de saneamento básico. Além disso, estima-se que o consumo total de energia dos setores de água e esgoto irá crescer globalmente numa previsão de 33%, nos próximos 20 anos.

Os custos de água potável e de energia elétrica estão intimamente ligados e são extremamente significativos aos sistemas de saneamento. Segundo Alliance (2002), cerca de 2% a 3% do consumo de energia do mundo são utilizados no bombeamento e tratamento de água em sistemas urbanos de abastecimento de água.

Em alguns casos específicos, o custo de energia para o abastecimento de água pode representar até metade do orçamento da companhia. Até mesmo em países desenvolvidos, os sistemas de água e energia são, em geral, o segundo ou terceiro item mais importante no orçamento das despesas.

No Brasil, o consumo total de energia cresceu 99% nos últimos vinte anos conforme apresentado na Figura 3.36. Observa-se na figura, a queda da carga de energia causada pela crise de abastecimento ocorrida entre os anos de 2001 e 2002. Isto

ocorreu devido a diversos fatores, indo desde a ausência de investimentos nos últimos anos que se antecederam à crise, passando, na época, pelo embrionário marco regulatório para o setor de energia elétrica além de uma mudança ensaiada da matriz energética brasileira (com a ampliação da geração térmica de energia) até a escassez de chuvas.

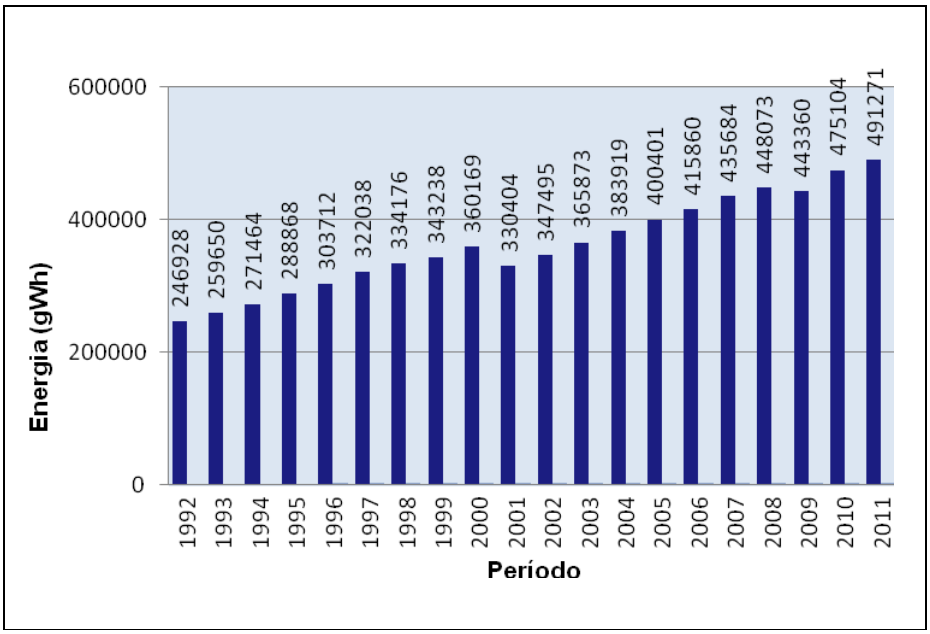

Figura 3.36 – Evolução do consumo de energia no Brasil. Fonte: ONS (2011).

A última publicação, em maio de 2011, da edição do “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos” que divulga anualmente a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cujo diagnóstico diz respeito ao ano de referência de 2009 apresenta informações importantes do consumo de energia elétrica relativos às operadoras de saneamento. No Brasil, no ano de 2009, o consumo por parte das companhias de saneamento para a prestação de serviços de água e esgoto foi de aproximadamente 7.853 gWh/ano (SNIS, 2011) do total de 443.360 gWh/ano (ONS, 2012), o que representa cerca de 1,77% da energia consumida em todo o país e uma despesa de quase dois bilhões de reais, conforme mostra a Tabela 3.5.

Segundo Gonçalves (2009), desse total, mais de 90% da energia destina-se ao uso *boosters* e estações elevatórias. Esses equipamentos, muitas vezes mal dimensionados e obsoletos, operam boa parte do dia em horários de pico que, aliados às altas perdas de água, contribuem para onerar tarifas de água e energia elétrica.

Tabela 3.5 – Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, ano de referência 2009.

	Volume (10^3 m³/ano)			Consumo de Energia Elétrica (gWh/ano)		Despesa com Energia Elétrica (R$/ano)
	Água Produzida	**Esgoto Coletado**	**Esgoto Tratado**	**Água**	**Esgoto**	**Água+Esgoto**
Estado SP*	2.840.928	969.236	710.846	1.815	304	485.456.449
Brasil	10.810.436	2.671.022	2.163.453	7.223	630	1.997.719.130

***Municípios operados pela Sabesp** **Fonte: SNIS (2011)**

Segundo Tsutyia (2001), nos sistemas de abastecimento de água operados pela Sabesp o consumo de energia elétrica é em média cerca de 0,6 kWh/m³ de água produzida. Pode-se ratificar a citação anterior observando-se os dados apresentados na Tabela 3.5, para o ano de 2009, que para o volume referente à produção de água de 10.810 x 10^6 m³/ano aos municípios operados pela Sabesp, o consumo de energia elétrica foi de 7.223 x 10^6 kWh/ano, o que significou aproximadamente 0,66 kWh/m³ (SNIS, 2011). Cabe destacar que, naquele ano, a população atendida por serviços de água pela Sabesp no estado de São Paulo foi de 23 milhões de habitantes ou cerca de 56% da população de todo o estado. Por isso, a implantação de diversas ações para que a redução dos custos com energia elétrica é de extrema importância para a viabilidade econômica das companhias de saneamento.

As principais alternativas para a redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água podem ser agrupadas nas seguintes categorias: i) conhecimento do sistema tarifário, ii) redução da potência do equipamento, iii) alteração do sistema operacional, iv) automação do sistema de abastecimento de água e v) geração de energia elétrica.

Embora as ações acima descritas sejam igualmente relevantes, merece atenção a que indiretamente traz a redução no consumo de energia elétrica: a redução da potência do equipamento.

Cabe destacar que a redução do índice de perdas de água é uma das partes integrantes dessa ação, refletindo na diminuição do volume de água recalcado e a consequente diminuição da potência dos conjuntos motor-bombas que compõem as estações elevatórias.

Com o objetivo de promover o uso de energia limpa e eficiente em todo o mundo, a fim de beneficiar os consumidores, o meio-ambiente, a economia e a segurança, foi criada em 1977 a Aliança para Conservação de Energia (Alliance) através de uma coalizão sem fins lucrativos entre empresas, governo, meio ambiente, consumidor e dirigentes.

Desde 1997, a Alliance tem trabalhado, através de programa internacional, com mais de 40 municípios em nove países ao redor do mundo no intuito de ajudar as cidades no abastecimento de água potável e no tratameno das águas residuais de forma mais eficiente, economizando água, energia e recurso financeiro.

Os programas da Alliance de eficientização do bombeamento de água nos municípios e de iniciativa de cidades sustentáveis focalizam o desenvolvimento de capacitações em nível municipal e o estabelecimento de importantes ligações entre os setores privados, da administração pública e das organizações não-governamentais (ONGs). Os esforços são no sentido de engajar cada uma dessas entidades para que múltiplos benefícios sejam alcançados com uso eficiente de energia. Ajudando estes setores a encontrar a motivação comum para eficientização de energia, a Alliance desenvolve atividades junto às comunidades com o fim de melhorar o meio-ambiente, reduzir o uso de eletricidade e os custos e melhorar o fornecimento dos serviços de água e energia nas municipalidades.

Em 2002, a Alliance publicou o relatório “Água e Energia: aproveitando as oportunidades de eficientização de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais”.

Este trabalho apresenta diversas experiências das companhias de água dos municípios em todo o mundo e destaca modos inovadores através dos quais as

companhias têm reduzido o uso de energia, ao mesmo tempo em que são solicitadas a aumentar e melhorar o serviço.

As recomendações contidas neste documento oferecem uma nova perspectiva na relação entre água e energia. Relacionando o gerenciamento dos recursos de água e energia, as operdoras têm a condição de aumentar a eficiência onde esses dois importantes recursos são empregados. Os benefícios em potencial para os indivíduos de todo o mundo, alcançados através da melhoria do gerenciamento, variam desde a purificação do ar até oportunidades de melhoria econômica e melhores serviços de utilidade com menores custos.

Neste documento, são apresentados vários estudos de caso, os quais ilustram como o conceito de eficiência está sendo aplicado no dia-a-dia das operações de serviços públicos ao redor do mundo. Cada estudo de caso demonstra maneiras inovadoras onde as concessionárias têm procurado integrar os conceitos da eficiência de água e energia em suas operações.

Um dos trabalhos apresentados aborda o uso eficiente de água e energia tratado no estado do Texas, Estados Unidos. Ao tentar alcançar alvos de eficientização muito modestos, o estado do Texas poderia não somente melhorar a sua situação de recursos hídricos, mas também economizar pelo menos 1,6 bilhão kWh e 200 milhões de metros cúbicos de gás, anualmente, a um custo otimizado. O Texas, localizado no sul dos Estados Unidos, tem um clima relativamente seco e recursos hídricos limitados. Abrange cerca de 696.200 km^2 e é habitado por 20,1 milhões de pessoas. Para atender à sua necessidade de água, o estado estabeleceu vigorosa abordagem para a eficientização de água e, apesar disso, outras grandes oportunidades para a economia e a redução do uso de água e energia ainda existem para as municipalidades deste estado.

Uma visão geral das companhias de água municipais no Texas é o que se segue:

- As companhias de água no Texas consomem 0,66 a 1,05 kWh/m^3.
- Quase 11,3 bilhões de litros de água tratada são distribuídos com propósitos municipais e industriais.
- O uso total da eletricidade para distribuição de água varia entre 2,8 a 4,8 bilhões de kWh/ano.

- As autoridades de água gastam, anualmente, entre 180 a 288 milhões de dólares com energia.
- A energia necessária para a produção de cloro e outros elementos químicos usados no tratamento de água e esgoto significa um uso adicional de água de 0,005 a 0,028 kWh/m³.

Ao reduzir as perdas das companhias de água em uma quantidade igual a 5 por cento da água distribuída, o Texas poderia economizar de 140 a 240 milhões de kWh de eletricidade anualmente, com uma economia de custos de aproximadamente 9 a 14 milhões de dólares. O aprimoramento da eficientização de energia em pelo menos 10%, no sistema de distribuição, poderia gerar uma economia adicional de 300 milhões de kWh.

No Brasil, também há iniciativas relacionadas ao uso eficiente de energia. No ano de 1985, tendo como finalidade promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para a eliminação dos desperdícios e redução dos custos e os investimentos setoriais, o Governo Federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) através dos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, que é gerido por uma Secretaria Executiva subordinada às Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás). Em 1991, o Procel foi transformado em programa de governo, tendo sua abrangência e suas responsabilidades ampliadas.

A Eletrobrás, por intermédio do Procel, vem desenvolvendo, desde 1996, o Programa Nacional de Eficiência Energética no Saneamento Ambiental (Procel Sanear), que atua de forma conjunta com o PNCDA e o PMSS, ambos coordenados pela SNSA, vinculada ao Ministério das Cidades (PROCEL, 2011). O Programa tem incentivado a apresentação de projetos, em nível nacional, de eficiência energética no setor de saneamento ambiental por meio da sinergia do polinômio água, energia, meio ambiente e saúde.

As concessionárias de energia elétrica que participam desse programa devem apresentar ações que resultem em redução do consumo de energia elétrica e da demanda na ponta por meio de intervenções no processo produtivo. Para assegurar esses requisitos, tecnologias e processos mais eficientes devem ser utilizados, observando os princípios de conservação de energia e as normas técnicas

específicas vigentes, além dos critérios e procedimentos técnicos e econômicos estabelecidos pelo Procel Sanear.

Os principais objetivos do Procel Sanear são:

- Promover ações que visem ao uso eficiente de energia elétrica e água em sistemas de saneamento ambiental, incluindo os consumidores, segundo uma visão integrada de utilização desses recursos.
- Incentivar o uso eficiente dos recursos hídricos, como estratégia de prevenção à escassez de água destinada à geração hidrelétrica.
- Contribuir para a universalização dos serviços de saneamento ambiental, com menores custos para a sociedade e benefícios adicionais nas áreas de saúde e de meio ambiente.

As principais metas do Procel Sanear são:

- Incremento do fluxo de recursos financeiros para implementação de projetos de eficiência energética na área de saneamento ambiental.
- Melhoria dos indicadores de desempenho associados à energia elétrica e ao processamento de água dos prestadores de serviços de saneamento.
- Maior conscientização dos consumidores no que se refere ao uso adequado de energia elétrica e água e à informação de novas tecnologias e seus benefícios.

3.12 ERROS E INCERTEZAS DE MEDIÇÕES

Lambert e Taylor (2010) afirmam que todos os dados associados ao balanço hídrico e aos cálculos de indicadores de perdas incluem erros e incertezas. Aceitar que há incertezas e tentar quantificá-las para tomada de decisões relacionadas à gestão de perdas, é um procedimento reconhecido pela metodologia proposta pela IWA. Isso pode auxiliar a operadora a priorizar as ações de controle de qualidade dos dados

para melhorar a confiabilidade do cálculo do balanço hídrico e dos indicadores de perdas que são derivados do mesmo.

Para uma melhor compreensão do significado de erros e incertezas de medições, serão aqui discorridos os conceitos que envolvem esse tema.

Define-se por medição o processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser razoavelmente atribuídos a uma grandeza (INMETRO, 2008).

Segundo Helene e Vanin (1981), ao serem feitas medidas experimentais, nem sempre seus resultados são obtidos de forma tão direta. Algumas vezes as medidas estão sujeitas a erros que não podem ser eliminados, pois são inerentes ao próprio processo de medidas.

Origem e tipos de erros

Na física experimental, é comum separar-se os erros em duas categorias: erros sistemáticos e erros estatísticos.

Erros sistemáticos estão relacionados a equipamentos calibrados ou ajustados incorretamente, a procedimentos errados do experimentador ou a uma falha conceitual. Esses erros devem ser eliminados ou reduzidos pelo experimentador através de observação da adequada calibração e ajuste e da correta utilização do equipamento.

Erros estatísticos são aqueles causados por variações incontroláveis e aleatórias dos instrumentos de medida e de condições externas, tais como temperatura, umidade do ar, etc. Em diversos casos não há diferença entre causas de erros estatísticos e de erros sistemáticos.

Uma vez eliminados ou reduzidos ao mínimo os erros sistemáticos, restam os estatísticos. Quando os erros estatísticos têm origem em uma quantidade grande de causas, todas elas provocando variações de intensidades equivalentes e pequenas, eles obedecem a leis matemáticas bem definidas. Esta propriedade permite tirar conclusões a partir de medidas experimentais sujeitas a erros.

Algarismos significativos

Toda medida experimental apresenta uma incerteza de meia unidade na última casa. Helene e Vanin (1981) afirmam que o critério de arredondamento de números mantêm essa propriedade de incerteza de meia unidade na última casa. Por exemplo, a representação com três algarismos significativos do valor de certa grandeza seja 0,553, significa que esse valor está entre 0,5525 e 0,5535. Um primeiro arredondamento daria 0,55, ou seja, entre 0,545 e 0,555, compatível com o valor da grandeza com três algarismos significativos. Um segundo daria 0,6, também compatível com o valor com o valor da grandeza com três algarismos significativos. Nota-se desta forma que o intervalo definido com menos algarismos significativos contem sempre aquele definido por um número maior de algarismos significativos.

Leitura de dados

Conforme Palo (2010) relata em seu trabalho, ao serem feitas leituras em instrumentos de medições, devem ser considerados fatores que geram variações no intervalo entre dois valores mínimos de sua escala. Esses fatores podem ser originados do ambiente como temperatura e umidade, interferências elétricas, ou causadas pelo próprio método de fabricação do instrumento. Sendo assim, o limite de incerteza do instrumento deve ser conhecido.

Como exemplo, tomando-se como medida de voltagem da rede elétrica a leitura de 112,5 V, por convenção os valores ficam entre 112,45 V e 112,55 V. Porém, os voltímetros comuns apresentam escalas divididas geralmente de 5 em 5 V, não sendo garantida a precisão melhor que 2,5 V, demonstrando desta forma que a leitura de 112,5 V está no intervalo entre 110 V e 115 V. Uma maneira frequente de representar esse resultado é 112,5 ± 2,5, onde o valor 2,5 representa o limite de incerteza.

Propagação de Incertezas

Raramente a medida que se faz em trabalhos de medições constitui o resultado final do processo de investigação realizado. Para se conhecer a resultado, o número obtido deve ser transformado matematicamente: somado, subtraído, dividido, multiplicado, etc. Outros valores assistidos provavelmente também apresentarão uma incerteza, o que se leva à questão de como determinar a incerteza de uma grandeza *z* que resulta de operações matemáticas envolvendo resultados de medidas de outras grandezas, tais como x_1, x_2, etc., com incertezas s_1, s_2, etc. (GALVÃO R. M. O., 2010).

Por exemplo, se $z = f(x_1,x_2,...)$ e as incertezas s_1, s_2, etc. são independentes, a incerteza em $\bar{z} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_1,...)$ é dada por:

$$s_z^2 = (\frac{\partial f}{\partial x_1}\partial_1)^2 + (\frac{\partial f}{\partial x_2}\partial_2)^2 + ... \quad (10)$$

Adição ou subtração: Se $z=\pm x\pm y$, $|\partial z/\partial x| = 1$ e $|\partial z/\partial y| = 1$, tem-se:

$$s_Z^2 = s_X^2 + s_Y^2 \quad (11)$$

Multiplicação ou Divisão: Se $z=xy$ ou $z=x/y$, $|\partial z/\partial x| = |z/x|$ e $|\partial z/\partial y| = |z/y|$, tem-se:

$$(\frac{s_Z}{z})^2 = (\frac{s_x}{x})^2 + (\frac{s_y}{y})^2 \quad (12)$$

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Será apresentado no presente capítulo o procedimento adotado para os levantamentos de dados utilizados nas análises, a aplicação das faixas de incertezas dos componentes do balanço hídrico e a análise das incertezas propriamente dita.

4.1 METODOLOGIA

Neste item, é apresentada a metodologia utilizada para se alcançar o objetivo da pesquisa. Para análise de confiabilidade do balanço hídrico, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

I – Caracterização geral da área de atuação da operadora de saneamento e seleção de três setores de abastecimento pertencentes a essa área.

II – Caracterização de cada setor de abastecimento, tais como: localização, sistema de abastecimento existente e uso e ocupação do solo.

III – Pesquisa em bancos de dados e de valores estimados dos volumes de entrada e elaboração do balanço hídrico passo a passo, para cada setor de abastecimento. Para a elaboração do balanço hídrico serão inseridas as variáveis correspondentes aos componentes dos fluxos e usos da água e suas correspondentes faixas de incerteza num período de 12 meses, para os anos de 2009 e 2010.

IV – Avaliação das faixas de incertezas dos componentes do Balanço Hídrico.

Para o desenvolvimento das etapas da pesquisa, primeiramente foram selecionados três setores de abastecimento situados na área de atuação da operadora de saneamento.

Os três setores foram escolhidos por possuírem diferentes características entre si, desde áreas territoriais, números de ligações, idades de rede e características sócio-econômicas.

Os limites dos setores de abastecimentos foram extraídos do Sistema de Informações Geográficas que em inglês é denominado de *Geographic Information System* (GIS). A partir do cruzamento da ferramenta de integração GIS com o banco de dados do Sistema Comercial, Serviços e Informação foi possível a exportação em forma de planilha excel dos dados de cada área dos setores de abastecimento, tais como: ligações ativas, extensão de rede, idade de rede, macromedição, micromedição e vazamentos em rede e ramal.

Para a caracterização da área de atuação da concessionária de saneamento e dos setores de abastecimento selecionados foram consultados relatórios internos da companhia e estudos de concepções, além de pesquisas em órgãos governamentais tais como: Prefeitura Municipal, Emplasa, IBGE, etc.

Na Figura 4.1, Figura 4.2 e Figura 4.3 são apresentados exemplos de telas do GIS, com *layers* distintos, que foram utilizados para a extração dos dados referentes aos setores de abastecimento.

Na Figura 4.1, podem ser observados os limites do setor de abastecimento sem a adição de *layers*, na Figura 4.2, é apresentado o *layer* de redes de distribuição em parte do setor de abastecimento e na Figura 4.3 é apresentado o *layer* de imagem de satélite.

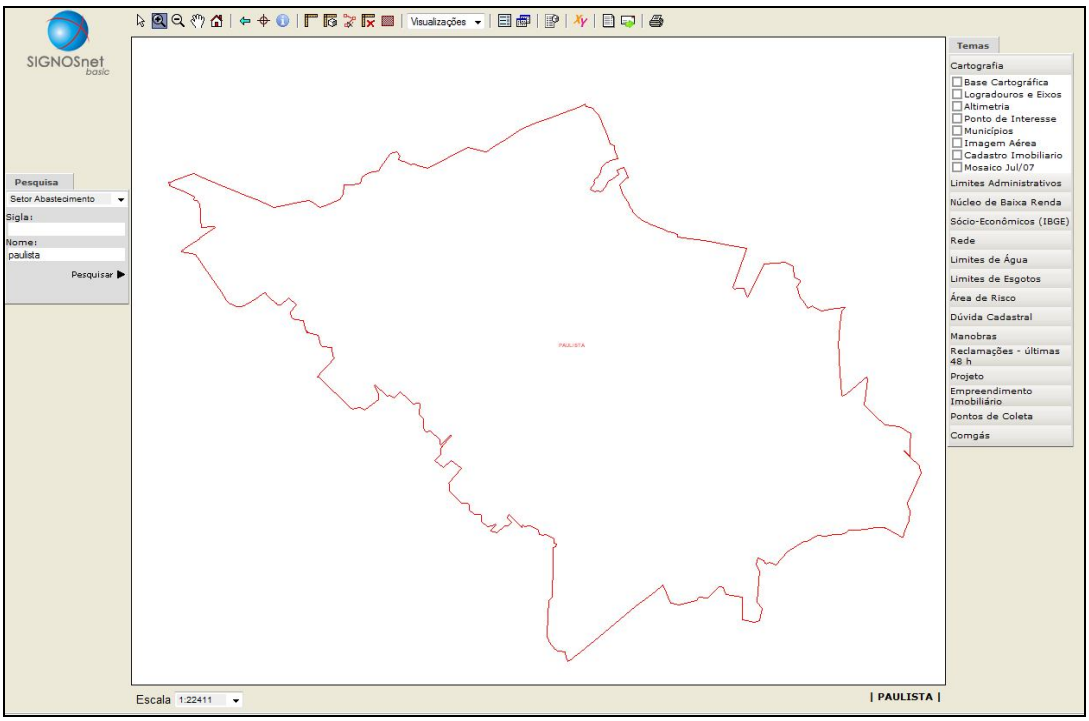

Figura 4.1 – Limites da área do setor de abastecimento, sem *layers*.

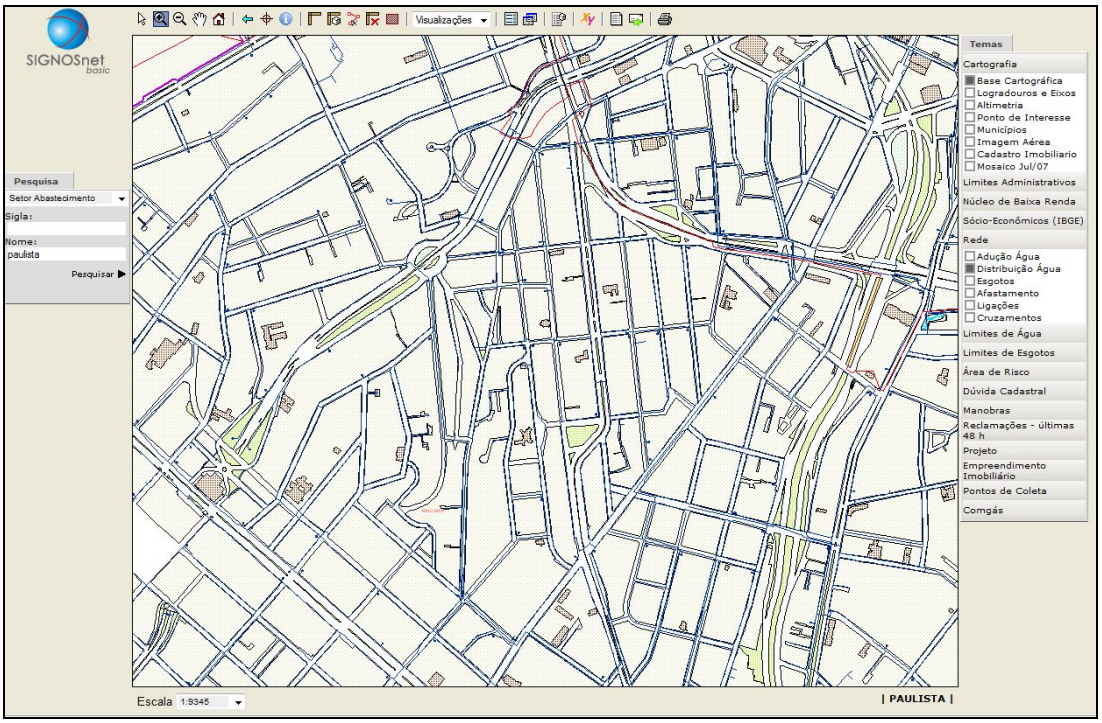

Figura 4.2 – Limites da área do setor de abastecimento, com *layer* de redes de distribuição.

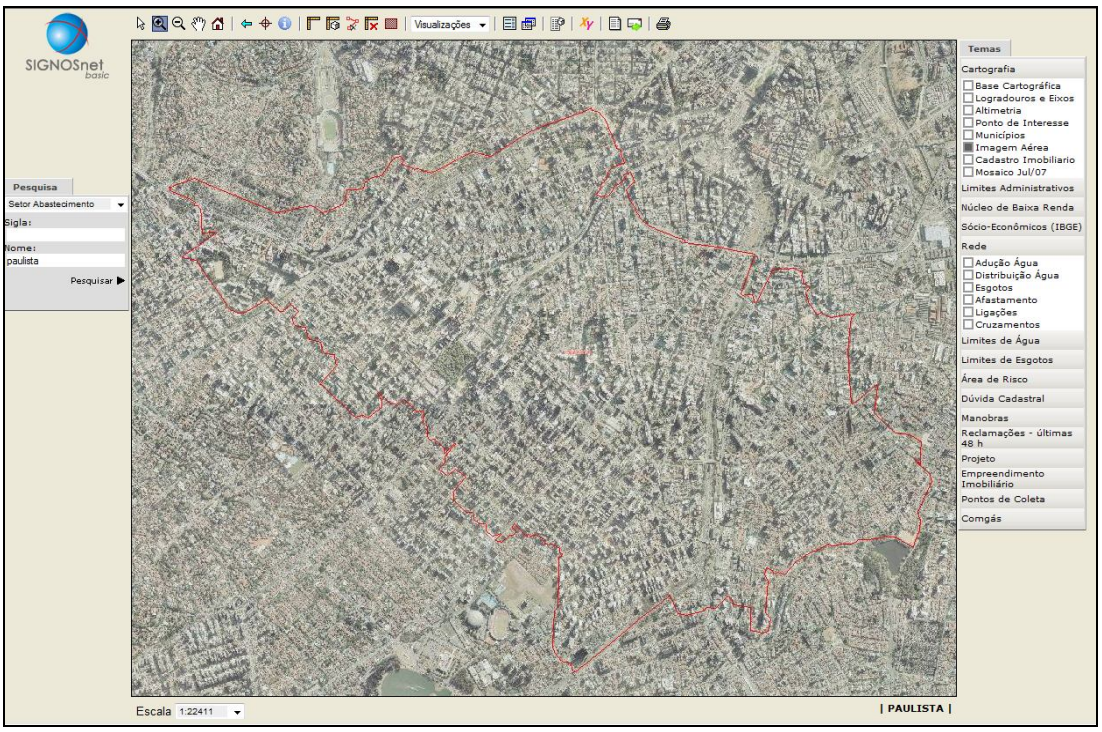

Figura 4.3 – Limites da área do setor de abastecimento, com *layer* imagem de satélite.

A matriz do balanço hídrico será elaborada pelo método *top-down*, proposta pela IWA, onde são apresentadas as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos da água no sistema. Seu cálculo exige medições ou estimativas criteriosas em cada ponto de controle definido no sistema e qualquer erro na determinação dos volumes poderá levar à seleção de uma estratégia inapropriada de redução de perdas (FANNER, 2009).

Cada componente do balanço hídrico possui incertezas de medições e erros no tratamento dos dados, que, quando acumulados, podem corresponder a valores expressivos. Por isso, o grau de credibilidade está diretamente relacionado aos erros e à confiança dos dados.

Os volumes empregados no balanço hídrico resultam de medições ou de estimativas, quando não se dispõe de aparelhos de medição.

Segundo Miranda (2010), a medição corresponde, na prática, a um valor estimado, que equivale à melhor estimativa que pode ser feita da grandeza. Esta pode ser ligeiramente maior ou menor do que o valor obtido.

É de fundamental importância, para a avaliação da credibilidade, a determinação da faixa de valores dentro da qual a grandeza se situe. Para caracterizar essa faixa de valores, deve-se conhecer e caracterizar tanto as incertezas originadas do medidor como também os da medição. No caso do medidor, tem-se a incerteza típica admissível para uma determinada faixa de trabalho, obtido em calibrações de bancada e também especificado pelo fabricante em seus catálogos. Quando se trata da medição, o intervalo é mais abrangente e incorpora os erros de todo o processo, cujas fontes são, além do próprio medidor, também aquelas devidas à instalação, operação, manutenção e leitura.

Para que se possam compreender melhor na matriz do balanço hídrico, quais são os dados de entrada medidos ou estimados e os dados calculados em função dos medidos e/ou estimados, foram adotadas cores diferentes para cada célula da tabela que compõe o balanço hídrico.

Os dados de entrada medidos serão caracterizados pela cor azul, os estimados pela cor rosa e os calculados em função dos medidos e/ou estimados pela cor amarela, conforme apresentado na Tabela 4.1. Posteriormente, para a construção do balanço hídrico, serão detalhados os passos para a obtenção dos dados, os cálculos da água não-faturada e as perdas de água.

Tabela 4.1 – Matriz do Balanço Hídrico.

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES]	Consumo autorizado [CA]	Consumo autorizado faturado [CAF]	Consumo faturado medido (inclui água exportada) [CAFM]	Água faturada [AF]
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF]	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF]
			Consumo não-faturado não-medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P]	Perdas aparentes [PA]	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1]	
			Incertezas de medição (macro e micromedição) [Pap_2]	
		Perdas reais [PR]	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição [Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios [Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

Fonte: ALEGRE *et al* (2006).

Passo 1: Determinar o volume de água que entra no sistema (AES) e introduzi-lo na Coluna A.

Em geral, a gestão operacional de um sistema adutor é feita através de sistemas de controle de abastecimento que opera à distância as válvulas de entrada dos reservatórios e a operação das elevatórias. Esse controle é possível devido à existência de sistemas de macromedições, compostos por medidores de vazão, pressão e nível d'água nos reservatórios e elevatórias. A partir desse sistema selecionando-se os itens macromedição, setor de abastecimento e datas inicial e final para cada ano da pesquisa, extrai-se as informações do setor de abastecimento contendo o volume diário ou acumulado de água que entra no sistema.

Os medidores mais empregados para a macromedição são os deprimogêneos e os eletromagnéticos caracterizados nesse trabalho no item 3.4 (Macromedidores), sendo que suas faixas de incertezas são distintas entre si.

A faixa de incerteza do macromedidor deprimogêneo com placa de orifício pode variar conforme os critérios de projeto utilizados, ficando entre 0,5% até 4%, ao longo de sua faixa de medição que é definida quando do seu projeto (BRASIL, 2007). Será considerada para o cálculo dessa variável a maior faixa de incerteza correspondente a 4%.

$$AES = Volume\,Macromedido \pm 4\% Volume\,Macromedido \tag{13}$$

Os macromedidores eletromagnéticos quando corretamente instalado e aterrado apresentam incerteza máxima admissível na faixa de ±0,5% nas velocidades de fluxo acima de 0,3 m/s (BRASIL, 2007).

$$AES = Volume\,Macromedido \pm 0{,}5\% Volume\,Macromedido \tag{14}$$

Caso a macromedição do setor se dê através de mais de um ponto de medição, deve-se calcular a propagação de incertezas do volume de água que entra no

sistema considerando as faixas de incertezas de cada um deles conforme tratado no item 3.12 (Erros e Incertezas de Medições), conforme observado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Volumes macromedidos, incertezas, desvio padrão e variância

Ponto de Medição (PM)	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM (10^3 m^3)	Incerteza (%)	s (10^3 m^3)	s^2 $(10^3\ m^3)^2$
PM_1	Deprimogêneo	VM_1	4	0,04 x s_1	$(0,04 \times s_1)^2$
PM_2	Eletromagnético	VM_2	0,5	0,005 x s_2	$(0,005 \times s_2)^2$
		∑VM			**∑s^2**

$$AES = \sum VM \pm \sqrt{\sum s^2} \tag{15}$$

Cálculo em percentual:

$$AES(\%) = \frac{AES}{AES} * 100 \tag{16}$$

Passo 2: Determinar o consumo autorizado faturado medido (CAFM) e o consumo autorizado faturado não-medido (CAFNM) na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (CAF) na Coluna C e como água faturada (AF) na Coluna E.

Através de banco de dados da operadora de saneamento é possível a exportação em forma de planilha excel dos volumes micromedidos de cada setor de abastecimento que corresponde ao consumo autorizado faturado medido (CAFM), cujo valor deve ser inserido na Coluna D.

O medidor de Classe B é o mais empregado na maioria das ligações residenciais. Será considerada a faixa de incerteza permitida na zona superior de ±2% relativa a essa classe de medidor, conforme Figura 3.12 apresentada no Capítulo Três.

$$CAFM = Volume\ Micromedido \tag{17}$$

$$CAFM = Volume\,Micromedido \pm 2\%\,Volume\,Micromedido \tag{18}$$

Cálculo em percentual:

$$CAFM\,(\%) = \frac{CAFM}{AES} * 100 \tag{19}$$

O consumo faturado não-medido referente à Coluna D deve ser estimado.

$$CAFNM = Valor\ Estimado \tag{20}$$

Somando-se as duas variáveis anteriores, obtêm-se os valores a serem preenchidos nas Colunas C e E, que correspondem respectivamente ao consumo autorizado faturado (CAF) e a água faturada (AF).

$$CAF = CAFM + CAFNM \tag{21}$$

Cálculo em percentual:

$$CAF\,(\%) = \frac{CAF}{AES} * 100 \tag{22}$$

Cálculo em percentual:

$$AF\,(\%) = \frac{AF}{AES} * 100 \tag{23}$$

Passo 3: Calcular o volume de água não-faturada (ANF) na Coluna E subtraindo a água faturada (AF) da Coluna E à água que entra no sistema (AES) da Coluna A.

$$ANF = AES - AF \tag{24}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{ANF} = \bar{x}_{AES} - \bar{x}_{AF} \tag{25}$$

$$s_{ANF} = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{AF}^2} \tag{26}$$

$$ANF = \bar{x}_{ANF} \pm s_{ANF} \tag{27}$$

Cálculo em percentual:

$$ANF(\%) = \frac{ANF}{AES} * 100 \tag{28}$$

Passo 4: Definir o consumo autorizado não-faturado medido (CANFM) e o consumo autorizado não-faturado não-medido (CANFNM) na Coluna D, registrar o total em consumo autorizado não-faturado (CANF) na Coluna C.

Conforme Sabesp (2006), por não possuir dado algum devido à dificuldade de medições dessas variáveis (CANF) e (CANFNM), faz-se uma estimativa considerando-se o valor padrão utilizado no Reino Unido de 1,25% da água que entra no sistema (AES) para o consumo autorizado não-faturado (CANF).

$$CANF = 1{,}25\% \, AES \tag{29}$$

Cálculo em percentual:

$$CANF(\%) = \frac{CANF}{AES} * 100 \tag{30}$$

Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado ao consumo autorizado não-faturado da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (Coluna B).

$$CA = CAF + CANF \tag{31}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{CA} = \bar{x}_{CAF} - \bar{x}_{CANF} \tag{32}$$

$$s_{CA} = \sqrt{s_{CAF}^2 + s_{CANF}^2} \tag{33}$$

$$CA = \bar{x}_{CA} \pm s_{CA} \tag{34}$$

Cálculo em percentual:

$$CA(\%) = \frac{CA}{AES} * 100 \tag{35}$$

Passo 6: Calcular as perdas de água (P) na Coluna B como a diferença entre a água que entra no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B).

$$P = AES - CA \tag{36}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_P = (\bar{x}_{AES} - \bar{x}_{CA}) \tag{37}$$

$$s_P = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{CA}^2} \tag{38}$$

$$P = \bar{x}_P \pm s_P \tag{39}$$

Cálculo em percentual:

$$P(\%) = \frac{P}{AES} * 100 \tag{40}$$

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não-autorizado (Pap_1) e das incertezas de medição (Pap_2) da Coluna D, somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (PA) na Coluna C.

Segundo Sabesp (2006), por não possuir dado algum devido à dificuldade de medições da variável Pap_1, faz-se uma estimativa considerando-se o valor padrão utilizado no Reino Unido de 0,50% da água que entra no sistema (AES).

$$P_{ap1} = 0{,}50\% \, x \, AES \tag{41}$$

Cálculo em percentual:

$$P_{ap1}(\%) = \frac{P_{ap1}}{AES} * 100 \tag{42}$$

Com relação às incertezas de medição Pap_2 da Coluna D serão calculadas as submedições dos hidrômetros de pequena e grande capacidade.

São considerados hidrômetros de pequena capacidade os hidrômetros com vazões características menores que 3,0 m^3/h (CPH ≤ 3,0 m^3) e hidrômetros de grande capacidade os hidrômetros com vazões características maiores que 3,0 m^3/h (CPH > 3,0 m^3).

Nos estudos e ensaios existentes relativos às incertezas e erros de medições, Melato (2010) afirma que:

> No caso dos macromedidores e dos hidrômetros, podem ser feitos ensaios de bancada ou em campo para determinação dos erros de medição e submedição. Em 2007, a Sabesp chegou ao resultado de 17% para o erro de submedição média dos hidrômetros de pequena capacidade para uma economia residencial na RMSP.
>
> Já para os hidrômetros de grande capacidade, os estudos na Sabesp continuam tanto em campo como em bancada, e os resultados iniciais apontaram uma submedição média de 5,3%.

Portanto, deverão ser calculadas as submedições desses hidrômetros através da propagação de incertezas do volume considerando as faixas de incertezas características de cada um deles, conforme apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	v_1	17	0,17 x v_1
CPH > 3,0 m^3	v_2	5,3	0,053 x v_2
			∑V

$$P_{ap2} = 17\% V_{\text{CPH}\leq 3} + 5{,}3\% V_{\text{CPH}>3} \tag{43}$$

Cálculo em percentual:

$$P_{ap2}(\%) = \frac{P_{ap2}}{AES} * 100 \tag{44}$$

Cálculo relativo às perdas aparentes (PA) da Coluna C:

$$PA = P_{ap1} + P_{ap2} \tag{45}$$

Cálculo em percentual:

$$PA(\%) = \frac{PA}{AES} * 100 \tag{46}$$

Passo 8: Calcular as perdas reais (PR) da Coluna C subtraindo as perdas aparentes (PA) da Coluna C às perdas de água (PA) da Coluna B.

$$PR = P - PA \tag{47}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{PR} = (\bar{x}_P - \bar{x}_{PA}) \tag{48}$$

$$s_{PR} = \sqrt{s_P^2 + s_{PA}^2} \tag{49}$$

$$PR = \bar{x}_{PR} \pm s_{PR} \tag{50}$$

Cálculo em percentual:

$$PR(\%) = \frac{PR}{AES} * 100 \tag{51}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTUDO DE CASO

5.1.1 Caracterização Geral

A macrometrópole paulista abrange 102 municípios do Estado, que estão agrupados em três Regiões Metropolitanas: São Paulo (RMSP), Campinas (RMC) e Baixada Santista (RMBS), e três Aglomerados Urbanos: Piracicaba-Limeira, São José dos Campos e de Sorocaba-Jundiaí.

Em termos de saneamento básico a Sabesp, através da Diretoria Metropolitana – M, atua diretamente em 37 municípios, sendo 29 deles pertencentes à Região Metropolitana de São Paulo – RMSP e oito à Região Bragantina.

No tocante a distribuição de água e coleta de esgotos, a RMSP é atendida por cinco Unidades de Negócios (UNs): Centro, Norte, Sul, Leste e Oeste, pertencentes a Diretoria Metropolitana – M. Na Figura 5.1 pode se observar a área de influência da Metropolitana.

A Unidade de Negócio Centro (MC), que atende a parcela mais central do município de São Paulo, possui a menor área física, mas o maior número de economias de água e de esgoto. Para o presente estudo foram selecionados três setores de abastecimento, Paulista, Sacomã e Vila Alpina, pertencentes à MC e cujas ilustração e características estão apresentadas respectivamente na Tabela 5.1 e na Figura 5.2.

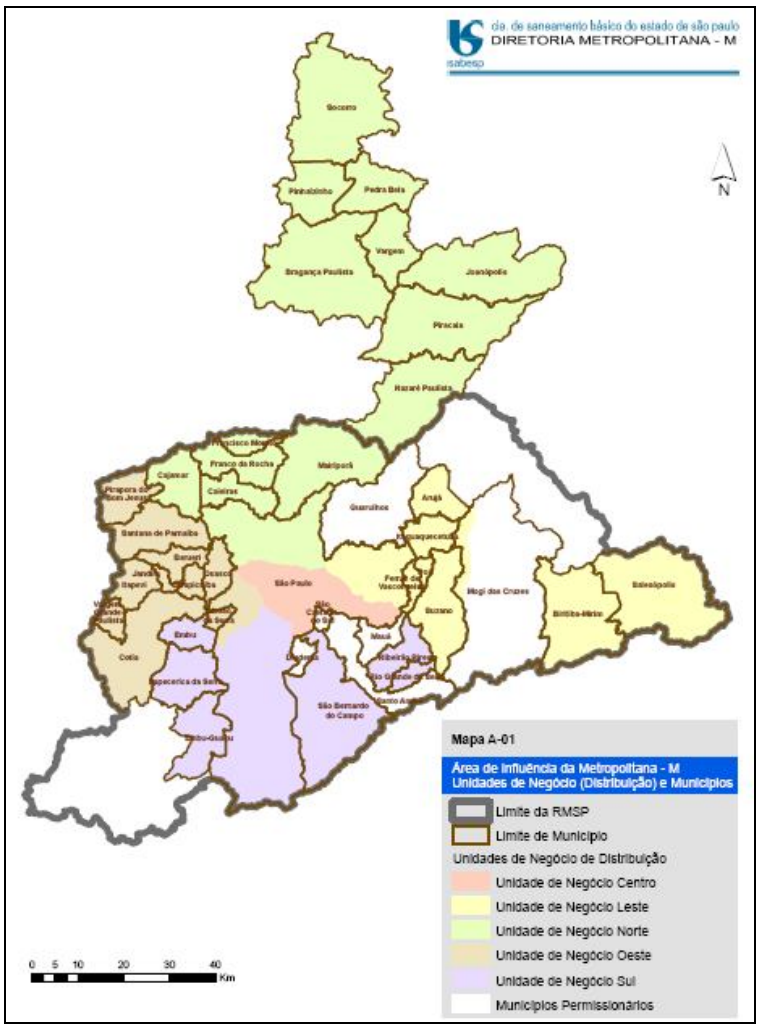

Figura 5.1 – Área de Influência da Diretoria Metropolitana da Sabesp. Fonte: SABESP (2011).

Tabela 5.1 – Características dos Setores de Abastecimento.

	Paulista	Sacomã	Vila Alpina
Área (km^2)	8,92	2,90	14,48
Ligações Ativas (un)	17.116	9.775	54.883
Extensão de redes (m)	225.943	58.938	311.370
Extensão acima 50 anos (m)	58.312	261	115.574
Macromedição (m^3)	31.402.447	5.896.884	19.933.785
Micromedição (m^3)	27.042.380	2.787.319	11.747.346
Vazamento em rede (un)*	276	30	347
Vazamento em ramal (un)*	882	361	1.283
População (hab)	190.273	38.856	176.069
Consumo per capta (l/hab.dia)	389,5	196,5	182,8
IP (%)	13,8	52,7	41,1
IP (l/lig.dia)	254	318	183

*** Acumulado de Jan/10 a Dez/10** **Fonte: Sabesp**

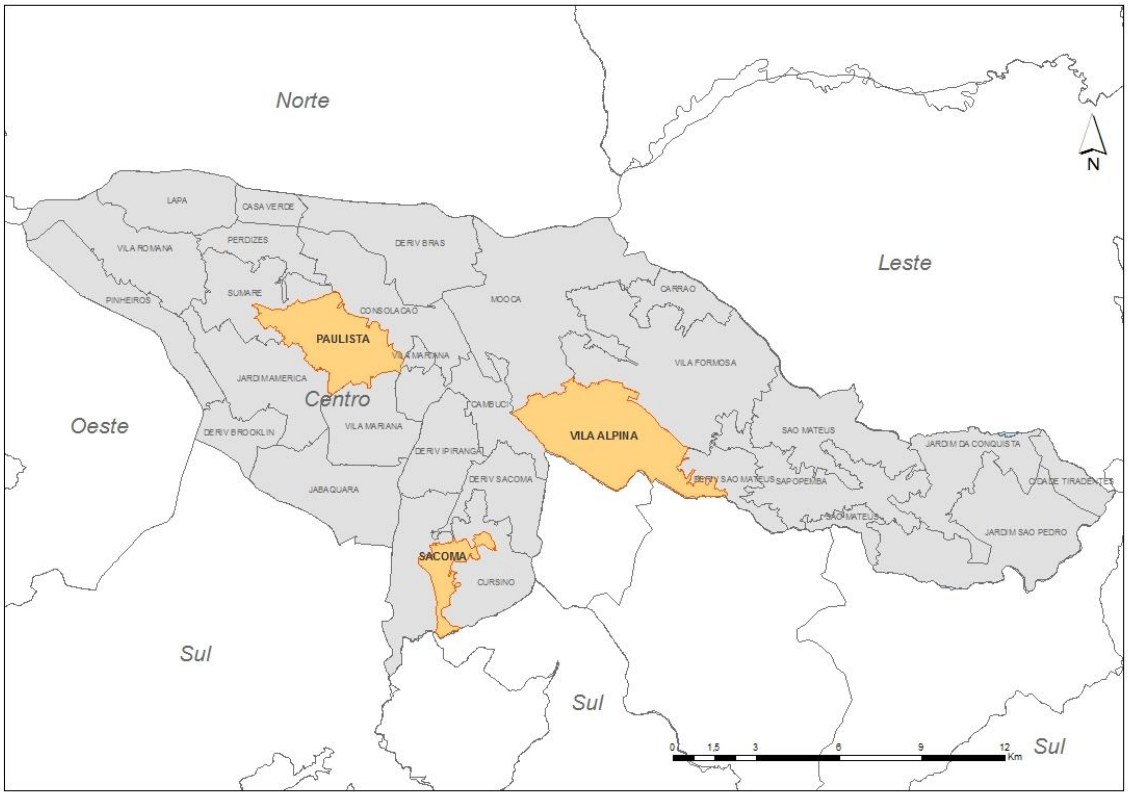

Figura 5.2 – Limites dos Setores Paulista, Sacomã e Vila Alpina. (Fonte: Sabesp)

5.1.1.1 Setor Paulista

Localização

O setor Paulista localiza-se na área central da Região Metropolitana e no município de São Paulo, com os limites abaixo descritos:

- Norte: Rua da Consolação.
- Nordeste: Viaduto Júlio de Mesquita e início da Radial Leste.
- Leste: Rua Bueno de Andrade.
- Sul: Rua Dr. Nicolau de Sousa Queiros.
- Sudeste: Alameda Lorena.

Apresenta uma população de 190.273 habitantes residentes, segundo o censo do IBGE realizado em 2010, e área territorial de 8,92 km^2.

Sistema de abastecimento existente

O setor Paulista, situa-se na interface dos dois maiores sistemas produtores da RMSP, o Sistema Cantareira e Guarapiranga, podendo assim ser abastecido, por intermédio de manobras, por esses dois sistemas.

Seu abastecimento é realizado a partir do Centro de Reservação, situado na Praça Amadeu Amaral, na Bela Vista, através de dois reservatórios apoiados com um total de quatro câmaras, totalizando 22.000 m^3, com autonomia de 5 horas.

O setor está subdividido em duas zonas piezométricas, denominadas de zona alta e zona baixa. Apresenta uma variação altimétrica de aproximadamente 80 m, variando da cota 750,00 no ponto mais baixo até a cota 810,00 situada no ponto mais alto.

O abastecimento da zona baixa é feito pela EEA Consolação e EEA Jardim América. Devido à tubulação de entrada do reservatório Paulista ser feita de forma afogada, ou seja, abaixo do nível de água, isso o caracteriza como reservatório de jusante.

Também chamado de reservatório de sobras, porque recebe água durante as horas de menor consumo e auxilia o abastecimento durante as horas de maior consumo.

O abastecimento da zona alta é feito pelo reservatório Paulista, onde a água é recalcada por quatro conjuntos moto-bombas. Essa situação também o caracteriza como reservatório de sobras.

Em casos emergenciais, o setor Paulista pode ser abastecido pelo sub-sistema ABV França Pinto, através da EEA Vila Mariana e pelo sub-sistema Guaraú-Consolação, através da EEA Jardim América.

A área é atendida na sua totalidade (100%) e é constituída com redes de distribuição de água cujos diâmetros das tubulações variam entre 75 e 700 mm e de 225,9 km de extensão, sendo que cerca de 58,1 km (25%) são de redes antigas que foram assentadas anteriormente a 1960.

Possui 17.116 ligações ativas, sendo 7.237 residenciais, 8.769 comerciais, 331 industriais, 205 públicas e 574 mistas, com consumo micromedido de 27.042.380 m^3 (Dezembro/2010).

Uso e ocupação do solo

O setor Paulista está localizado em uma das áreas mais dinâmicas do município de São Paulo, centro financeiro da cidade, região da Avenida Paulista, compreendendo parte dos distritos Bela Vista, Consolação, Jardim Paulista, Liberdade e Vila Mariana.

Nesta área, cortada pelas linhas Norte-Sul e Paulista do Metrô, erguem-se edifícios de apartamentos, comércio especializado e serviços diversificados como escritórios, bancos, pequenos supermercados, academias, galerias comerciais, consultórios médicos, serviços de hotelaria, restaurantes e bares, dentre outros.

Também estão localizados aí os maiores complexos hospitalares da cidade de São Paulo, entre outros os Hospitais Emílio Ribas, Clínicas, Santa Catarina, Oswaldo Cruz, Pró-Matre, Brigadeiro, Beneficência Portuguesa e Sírio-Libanês, além de diversos estabelecimentos culturais e instituições de ensino, tais como: MASP,

Fundação Getúlio Vargas, Rádio e TV Gazeta, Colégio São Luis, Faculdade de Medicina da USP e Colégio Dante Alighieri.

As áreas abrangidas pelo setor Paulista sofreram profundas transformações ao longo do tempo, principalmente na Avenida Paulista e seus arredores, entre as alamedas dos bairros Cerqueira Cesar e Jardins, tendo sido seus pequenos sobrados do início do século substituídos por lojas, butiques, bares e restaurantes. Processo este que foi acompanhado de uma enorme verticalização, voltada não apenas ao uso residencial, mas também aos serviços (escritórios, hotéis, etc.).

Além disso, apresenta uma ocupação consolidada e bastante diversificada, com predominância de uso para o comércio e serviços ao longo de seus principais corredores de circulação viárias, com destaque para as seguintes vias públicas: Av. Paulista, Av. 23 de Maio, Av. Brigadeiro Luís Antônio, Av. 9 de Julho, Rua da Consolação, Av. Rebouças, Av. Dr. Arnaldo, Rua Vergueiro e Av. Liberdade.

Espalhadas na região encontram-se ainda raras áreas de uso exclusivamente residencial, sendo mais comum o uso misto com comércio no térreo e residências nos demais andares.

5.1.1.2 Setor Sacomã

Localização

O setor Sacomã localiza-se na área central da Região Metropolitana e no município de São Paulo, com os limites abaixo descritos:

- Nordeste: Avenida marginal direita da Rodovia Anchieta
- Sul: divisa com o município de São Bernardo do Campo
- Oeste: Parque do Estado

Apresenta uma população de 38.856 habitantes residentes, segundo o censo do IBGE realizado em 2010, e área territorial de 2,90 km^2.

Sistema de abastecimento existente

O setor Sacomã é abastecido atualmente pelo Sistema Produtor Cantareira, via reservatório Jabaquara.

O reservatório semi-enterrado Sacomã recebe água do reservatório Jabaquara através de uma linha de DN 900 e de aproximadamente 5.900 m de extensão. O reservatório possui duas câmaras com valores nominais de 6.000 m^3, possibilitando reservação útil de até 9.298 m^3 (77% de rendimento).

Existe uma elevatória localizada junto ao reservatório principal, responsável pelo abastecimento do setor. Possui instalações para três conjuntos motor-bomba com vazão de 250 l/s, altura manométrica de 65 mca e 1780 RPM cada unidade. Além disso, há uma torre que serve atualmente como controlador de atuação (OLIVEIRA, 2010).

O setor apresenta uma variação altimétrica de aproximadamente de 80 m, variando da cota 755,00 m no ponto mais baixo até a cota 834,00 m situada no ponto mais alto.

A área é atendida na sua totalidade (100%) e é constituída com redes de distribuição de água cujos diâmetros das tubulações variam entre 80 e 700 mm e de 58,9 km de extensão, sendo que 0,3 km (0,4%) são de redes antigas que foram assentadas entre 1950 a 1960.

Possui 9.775 ligações ativas, sendo 8.691 residenciais, 737 comerciais, 158 industriais e 14 públicas, com consumo micromedido de 2.787.319 m^3 (Dezembro/2010).

Uso e ocupação do solo

Com relação ao uso e ocupação do solo, nas áreas de ocupação mais antiga, como Ipiranga, Moinho Velho, Vila Independência e ao longo dos eixos viários, como a Via Anchieta, ESFSJ e Avenida do Estado há apreciável concentração de estabelecimentos industriais de grande porte. Nas demais áreas, não circunscritas

naqueles perímetros, a ocupação dominante é residencial, com predominância das unidades unifamiliares (casas térreas e sobrados) de padrão sócio econômico alto, médio e baixo. Nota-se a tendência natural da terceirização, com incremento do processo de verticalização das construções, em núcleos isolados, dispersos por toda a área.

5.1.1.3 Setor Vila Alpina

Localização

O setor Vila Alpina localiza-se na área central da Região Metropolitana e no município de São Paulo, com os limites abaixo descritos:

- Norte com as Ruas Marius e Rua Capitão Militão,
- Nordeste Avenida Professor Luiz Ignácio de Anhaia Mello,
- Leste com a Rua Otavio Alves Dundas,
- Sul com o município de Santo André,
- Sudoeste com o município de São Caetano do Sul,
- Oeste com a Avenida Doutor Francisco Mesquita,
- Noroeste com a Avenida Professor Luiz Ignácio de Anhaia Mello.

Apresenta uma população de 176.069 habitantes residentes, de acordo com o Censo 2.010 do IBGE, e área territorial de 14,48 km^2.

Sistema de abastecimento existente

O setor Vila Alpina é atendido atualmente pelo Sistema Produtor Cantareira, através da Adutora Guaraú-Mooca (DN 2.500 mm), que por sua vez está interligada à Adutora do Rio Claro (DN 2.500 mm), da qual deriva a atual Sub Adutora (DN 800 mm) em ferro fundido que abastece o Reservatório de Vila Alpina.

O abastecimento do setor se dá através do Centro de Reservação que está localizado na quadra formada pelas Ruas Paramu, Tripuí e Helena Silva Teixeira e é constituído por um Reservatório Enterrado, com capacidade de 12.000 m^3 e um Reservatório Elevado, com capacidade de 300 m^3.

O Sistema de Recalque que abastece a Torre está situado junto ao Reservatório Enterrado, sendo constituído por três conjuntos motor-bombas iguais. Além disso, uma pequena área da ordem 9 ha, situada no interior da Zona Alta, é pressurizada através de um booster.

O Setor está dividido em duas zonas de pressão, a Zona Alta e a Zona Baixa. Apresenta uma variação altimétrica de aproximadamente 65 m, variando da cota 735,00 no ponto mais baixo, junto à travessia da Av. Luiz Inácio de Anhaia Melo com o Rio Tamanduateí, até a cota 800,00 situada nas proximidades do *booster*, no cruzamento das Ruas Prof. Eurico Vilela com Sirinhaem.

A Zona Baixa apresenta atualmente cotas máximas da ordem de 775 m e mínimas em torno de 735 m, equivalente a uma variação altimétrica de 40 m. Considerando-se os níveis dos reservatórios, apresenta pressões estáticas máximas da ordem de 60 mca.

A Zona Alta apresenta cotas máximas em torno de 800 m e mínimas da ordem de 755 m, equivalente a uma variação altimétrica da ordem de 45 m. Considerando-se o nível máximo da Torre, apresenta pressões estáticas máximas em torno de 75 mca.

Conforme já descrito, apresenta duas zonas de pressão: a Zona Baixa é atendida pelo Reservatório Enterrado e por derivações diretas da Sub Adutora, e em consequência atua como reservatório de sobras.

A área é atendida na sua totalidade (100%) e é constituída com redes de distribuição de água cujos diâmetros das tubulações variam entre 75 e 800 mm e de 311,3 km de extensão, sendo que 115,5 km (37%) são de redes antigas que foram assentadas anteriormente a 1960.

Possui 54.883 ligações ativas, sendo 47.642 residenciais, 5.157 comerciais, 1.176 industriais, 88 públicas e 820 mistas, com consumo micromedido de 11.747.346 m^3 (Dezembro/2010).

Uso e ocupação do solo

O setor Vila Alpina está inserido nos distritos municipais Vila Prudente e São Lucas, que fazem parte da Subprefeitura Vila Prudente/Sapopemba. Tais distritos são tão populosos quanto algumas importantes cidades do estado de São Paulo.

Essa região do Município de São Paulo apresenta características contrastantes, sendo uma parte constituída de áreas desenvolvidas, outras com problemas típicos de uma grande metrópole, como ausência de arborização, favelas, ruas de terra, e o descaso do poder público em gestões anteriores que acabaram por quase desfigurar a região, a segunda mais populosa.

Caracteriza-se pelo uso residencial de padrão médio e pela presença de algumas vias de grande circulação (Viaduto Grande São Paulo, Avenidas: Professor Luiz Ignácio de Anhaia Melo, Paes de Barros, Av. do Estado e Salim Farah Maluf), essa área é bem provida de atividades de comércio e serviços, embora a atividade industrial ainda seja relativamente importante (EMPLASA, 2011).

Cabe observar que apresenta particularidades de uso e ocupação do solo, pois existem grandes vazios não habitáveis destacando-se o Crematório e Cemitério de Vila Alpina, grande quantidade de áreas industriais, além das áreas comerciais que margeiam a Av. Anhaia Mello.

Impulsionada pela construção do Expresso Tiradentes e da Estação Vila Prudente do Metrô, o lançamento de apartamentos tende, ainda, a crescer, sobretudo nas imediações do Largo de Vila Prudente e ao longo da Avenida Professor Luiz Ignácio Anhaia Mello. Partindo do Terminal Sacomã, o Expresso Tiradentes está projetado para chegar até a Cidade Tiradentes.

A vinda do ramal da Linha 2 – Verde do Metrô através da construção da Estação Vila Prudente e a chegada do Expresso Tiradentes, têm colaborado para o desenvolvimento da região, apresentando desta forma uma forte tendência de verticalização em seu entorno, sobretudo nas imediações do Largo de Vila Prudente e ao longo da Avenida Professor Luiz Ignácio Anhaia Mello (PMSP, 2011).

5.1.2 Construção do Balanço Hídrico

5.1.2.1 Setor Paulista

Passo 1: Determinar o volume de água que entra no sistema (AES) e introduzi-lo na Coluna A.

Toda a gestão operacional do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) operado pela Sabesp é feita no Centro de Controle Operacional (CCO), através do Sistema de Controle Operacional do Abastecimento (Scoa), que opera à distância as válvulas de entrada dos reservatórios e a operação de elevatórias. Esse controle é possível devido à existência de um amplo sistema de macromedição no SAM, composto por medidores de vazão, pressão e nível d'água nos reservatórios setoriais e elevatórias.

A partir do Scoa, selecionando-se os itens macromedição, setor de abastecimento e ano de referência, extraiu-se os volumes acumulados da macromedição e seus respectivos pontos de medição (PM) para os anos de 2009 e 2010.

Conforme se pode notar na Tabela 5.2 e Tabela 5.3, a macromedição é feita através de quatro PMs, onde os PMs 294 e 299 são medidores do tipo deprimogêneos e os PMs 306 e 392 são medidores do tipo eletromagnéticos.

Tabela 5.2 - Pontos de medições e volumes macromedidos do setor Paulista (2009)

Ponto de Medição (PM)	Descrição	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM (10^3 m^3)	Participação (%)
294	Rec. EEA Jd América – Paulista	Deprimogêneo	941	3,32
299	Rec. EEA Consolação – Paulista	Deprimogêneo	20.218	71,35
306	Rec. EEA Mariana – Paulista	Eletromagnético	493	1,74
392	Rec. EEA Jd América – Paulista ZA	Eletromagnético	6.684	23,59
			28.336	

Fonte: Scoa Sabesp.

Tabela 5.3 - Pontos de medições e volumes macromedidos do setor Paulista (2010)

Ponto de Medição (PM)	Descrição	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM (10^3 m^3)	Participação (%)
294	Rec. EEA Jd América – Paulista	Deprimogêneo	4.214	13,42
299	Rec. EEA Consolação – Paulista	Deprimogêneo	20.753	66,09
306	Rec. EEA Mariana – Paulista	Eletromagnético	255	0,81
392	Rec. EEA Jd América – Paulista ZA	Eletromagnético	6.180	19,68
			31.402	

Fonte: Scoa Sabesp.

Como existem quatro pontos de medições, deve-se calcular a propagação de incertezas da água que entra no sistema considerando as faixas de incertezas de cada macromedidor (Tabela 5.4 e Tabela 5.5).

Tabela 5.4 – Volumes macromedidos, incertezas, desvio padrão e variância do setor Paulista (2009)

Ponto de Medição (PM)	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM (10^3 m^3)	Incerteza (%)	s (10^3 m^3)	s^2 $(10^3\ m^3)^2$
294	Deprimogêneo	941	4	37	1.416
299	Deprimogêneo	20.218	4	808	654.028
306	Eletromagnético	493	0,5	2	6
392	Eletromagnético	6.684	0,5	33	1.116
		28.336			**656.568**

Cálculo da propagação de incerteza:

$$s^2 = s_{294}^2 + s_{299}^2 + s_{306}^2 + s_{392}^2 \tag{52}$$

$$s = \sqrt{656.568x10^6}$$

$$s = 810x10^3 \text{ m}^3\text{/ano}$$

$$VM_{2009} = [28.337 \pm 810]x10^3 = [27.526;29.147]x10^3 m^3 / ano$$

$$AES_{2009} = [27.526;29.147]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$AES_{2009} = \frac{AES_{2009}}{AES_{2009}} * 100 \qquad (53)$$

$$AES_{2009} = 100\%$$

Tabela 5.5 - Volumes macromedidos, incertezas, desvio padrão e variância do setor Paulista (2010)

Ponto de Medição (PM)	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM (10^3 m^3)	Incerteza (%)	s (10^3 m^3)	s^2 $(10^3\ m^3)^2$
294	Deprimogênio	4.214	4	168	28.412
299	Deprimogênio	20.753	4	830	689.099
306	Eletromagnético	255	0,5	1	1
392	Eletromagnético	6.180	0,5	30	954
		31.402			**718.468**

Cálculo da propagação de incerteza:

$$s^2 = s_{294}^2 + s_{299}^2 + s_{306}^2 + s_{392}^2 \qquad (54)$$

$$s = \sqrt{718.468x10^6}$$

$$s = 848x10^3 m^3 / ano$$

$$VM_{2010} = [31.402 \pm 848]x10^3 = [30.554;32.250]x10^3 m^3 / ano$$

$$AES_{2010} = [30.554;32.250]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$AES_{2010} = \frac{AES_{2010}}{AES_{2010}} * 100 \qquad (55)$$

$$AES_{2010} = 100\%$$

Passo 2: Determinar o consumo autorizado faturado medido (CAFM) e o consumo autorizado faturado não-medido (CAFNM) na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (CAF) na Coluna C e como água faturada (AF) na Coluna E.

Através do banco de dados *SQL-Server* da Sabesp foi possível a exportação em forma de planilha excel dos volumes micromedidos do setor de abastecimento que corresponde ao consumo autorizado faturado medido (CAFM), observado na Coluna D.

Os volumes micromedidos em 2009 e 2010 do setor Paulista foram extraídos do banco de dados que constam na Tabela 5.6 e na Tabela 5.7 e sua somatória deve ser inserida na Coluna D.

Tabela 5.6 – Volume micromedido do setor Paulista (2009).

Mês	Hidrômetro CPH ≤ 3m^3 (m^3)	Hidrômetro CPH ≥ 3 m^3 (m^3)	Total (m^3)
Janeiro	411.186	1.534.713	1.945.899
Fevereiro	435.303	1.653.947	2.089.250
Março	461.477	1.764.035	2.225.512
Abril	468.182	1.803.065	2.271.247
Maio	454.814	1.731.177	2.185.990
Junho	438.476	1.686.919	2.125.395
Julho	417.302	1.624.114	2.041.416
Agosto	440.577	1.676.565	2.117.141
Setembro	456.704	1.721.143	2.177.847
Outubro	438.778	1.685.451	2.124.229
Novembro	466.566	1.782.198	2.248.764
Dezembro	437.947	1.692.921	2.130.868
Total	**5.327.312**	**20.356.247**	**25.683.559**

Fonte: Signos Sabesp.

Tabela 5.7 – Volume micromedido do setor Paulista (2010)

Mês	Hidrômetro CPH ≤ 3m^3 (m^3)	Hidrômetro CPH ≥ 3 m^3 (m^3)	Total (m^3)
Janeiro	474.647	1.595.217	2.069.864
Fevereiro	503.589	1.719.872	2.223.461
Março	547.152	1.839.563	2.386.716
Abril	528.888	1.797.584	2.326.472
Maio	532.223	1.800.755	2.332.979
Junho	511.676	1.716.477	2.228.154
Julho	501.355	1.667.958	2.169.313
Agosto	526.265	1.715.706	2.241.971
Setembro	531.857	1.773.599	2.305.456
Outubro	522.555	1.740.409	2.262.964
Novembro	536.478	1.768.581	2.305.059
Dezembro	502.715	1.718.810	2.221.525
Total	**6.219.401**	**20.854.531**	**27.073.932**

Fonte: Signos Sabesp.

O medidor de Classe B é o mais empregado na maioria das ligações residenciais. Será considerada a faixa de incerteza permitida na zona superior de ±2% relativa a essa classe de medidor, conforme Figura 3.12 apresentada no capítulo três.

$$CAFM_{2009} = VMicro_{2009} \pm 2\% VMicro_{2009} \tag{56}$$

$$CAFM_{2009} = [25.683 \pm 514]\, x10^3 = [25.169;26.197]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$CAFM_{2010} = VMicro_{2010} \pm 2\% VMicro_{2010} \tag{57}$$

$$CAFM_{2010} = [27.074 \pm 541]\, x10^3 = [26.533;27.615]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$CAFM = \frac{CAFM}{AES} * 100 \tag{58}$$

$$CAFM_{2009} = 91\%$$

$$CAFM_{2010} = 86\%$$

A Coluna D referente ao consumo faturado não-medido (CAFNM) não será preenchida, pois não há estimativa para essa volume.

Somando-se as duas variáveis anteriores, obtêm-se os valores a serem preenchidos nas Colunas C e E, que correspondem respectivamente ao consumo autorizado faturado (CAF) e a água faturada (AF).

$$CAF = CAFM + CAFNM \tag{59}$$

$$CAF_{2009} = [25.683 \pm 514]\, x10^3 = [25.169;26.197]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$CAF_{2010} = [27.074 \pm 541]\, x10^3 = [26.533;27.615]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$CAF = \frac{CAF}{AES} * 100 \tag{60}$$

$$CAF_{2009} = 91\%$$

$$CAF_{2010} = 86\%$$

$$AF = CAFM + CAFNM \tag{61}$$

$$AF_{2009} = [25.683 \pm 514]\, x10^3 = [25.169;26.197]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$AF_{2010} = [27.074 \pm 541]\, x10^3 = [26.533;27.615]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$AF = \frac{AF}{AES} * 100 \tag{62}$$

$$AF_{2009} = 91\%$$

$$AF_{2010} = 86\%$$

Passo 3: Calcular o volume de água não-faturada (ANF) na Coluna E subtraindo a água faturada (AF) da Coluna E à água que entra no sistema (AES) da Coluna A.

$$ANF = AES - AF \tag{63}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{ANF} = \bar{x}_{AES} - \bar{x}_{AF} \tag{64}$$

$$s_{ANF} = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{AF}^2} \tag{65}$$

$$ANF = \bar{x}_{ANF} \pm s_{ANF} \tag{66}$$

$$\bar{x}_{ANF\,2009} = (28.337 - 25.683)x10^3 = 2.654x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{ANF\,2009} = \sqrt{(810x10^3)^2 + (514x10^3)^2} = 959x10^3 m^3 / ano$$

$$ANF_{2009} = [2.654 \pm 959]x10^3 = [1.695;3.613]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{ANF\,2010} = (28.337 - 25.683)x10^3 = 2.654x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{ANF\,2010} = \sqrt{(848x10^3)^2 + (541x10^3)^2} = 1.006x10^3 m^3 / ano$$

$$ANF_{2010} = [4.328 \pm 1.006]x10^3 = [3.322;5.334]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$ANF = \frac{ANF}{AES} * 100 \tag{67}$$

$$ANF_{2009} = 9\%$$

$$ANF_{2010} = 14\%$$

Passo 4: Definir o consumo autorizado não-faturado medido (CANFM) e o consumo autorizado não-faturado não-medido (CANFNM) na Coluna D, registrar o total em consumo autorizado não-faturado (CANF) na Coluna C.

Conforme Sabesp (2006), por não possuir dado algum devido à dificuldade de medições dessas variáveis (CANF) e (CANFNM), faz-se uma estimativa considerando-se o valor padrão utilizado no Reino Unido de 1,25% da água que entra no sistema (AES) para o consumo autorizado não-faturado (CANF).

$$CANF = 1{,}25\%\, AES \tag{68}$$

$$CANF_{2009} = \{0{,}0125\, x\, [27.526;29.147]\}\, x10^3 = [344;364]\, x10^3 m^3 / ano$$

$$CANF_{2010} = \{0{,}0125\, x\, [30.554;32.250]\}\, x10^3 = [382;403]\, x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$CANF = \frac{CANF}{AES} * 100 \tag{69}$$

$$CANF_{2009} = 1\%$$

$$CANF_{2010} = 1\%$$

Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado (CAF) e ao consumo autorizado não-faturado (CANF) da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (CA) na Coluna B.

$$CA = CAF + CANF \tag{70}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{CA} = \bar{x}_{CAF} + \bar{x}_{CANF} \tag{71}$$

$$s_{CA} = \sqrt{s_{CAF}^2 + s_{CANF}^2} \tag{72}$$

$$CA = \bar{x}_{CA} \pm s_{CA} \tag{73}$$

$$\bar{x}_{CA2009} = (25.683 + 354)x10^3 = 26.037x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{CA2009} = \sqrt{(514x10^3)^2 + (10x10^3)^2} = 514x10^3 m^3 / ano$$

$$CA_{2009} = [26.037 \pm 514]x10^3 = [25.523;26.551]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{CA2010} = (27.074 + 393)x10^3 = 27.467x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{CA2010} = \sqrt{(541x10^3)^2 + (10x10^3)^2} = 541x10^3 m^3 / ano$$

$$CA_{2010} = [27.467 \pm 541]x10^3 = [26.926;28.008]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$CA = \frac{CA}{AES} * 100 \tag{74}$$

$$CA_{2009} = 92\%$$

$$CA_{2010} = 87\%$$

Passo 6: Calcular as perdas de água (P) na Coluna B como a diferença entre a água que entra no sistema (AES) da Coluna A e o consumo autorizado (CA) da Coluna B.

$$P = AES - CA \tag{75}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_P = (\bar{x}_{AES} - \bar{x}_{CA}) \tag{76}$$

$$s_P = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{CA}^2} \tag{77}$$

$$P = \bar{x}_P \pm s_P \tag{78}$$

$$\bar{x}_{P2009} = (28.337 - 26.037)x10^3 = 2.300x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{P2009} = \sqrt{(810x10^3)^2 + (514x10^3)^2} = 959x10^3 m^3 / ano$$

$$P_{2009} = [2.300 \pm 959]x10^3 = [1.341;3.259]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{P2010} = (31.402 - 27.467)x10^3 = 3.935x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{P2010} = \sqrt{(848x10^3)^2 + (541x10^3)^2} = 1.006x10^3 m^3 / ano$$

$$P_{2010} = [3.935 \pm 1.006]x10^3 = [2.929;4.941]m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P = \frac{P}{AES} * 100 \tag{79}$$

$$P_{2009} = 8\%$$

$$P_{2009} = 13\%$$

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não-autorizado (Pap1) e das incertezas de medição (Pap2) da Coluna D, somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (PA) na Coluna C.

Cálculo da parcela relativa ao uso não-autorizado (Pap_1) da Coluna D:

$$P_{ap1} = 0{,}50\% \, x \, AES \tag{80}$$

$$P_{ap12009} = \{0{,}005 \, x [27.526;29.147]\} \, x10^3 = [138;146] \, x10^3 \, m^3 / ano$$

$$P_{ap12010} = \{0{,}005 \, x [30.554;32.250]\} \, x10^3 = [153;161] \, x10^3 \, m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P_{ap1} = \frac{P_{ap1}}{AES} * 100 \tag{81}$$

$$P_{ap12009} = 1\%$$

$$P_{ap12010} = 0\%$$

Cálculo da parcela relativa às incertezas de medição (Pap_2) da Coluna D:

A Tabela 5.8 e Tabela 5.9 são apresentados os volumes para hidrômetros de pequena e grande capacidade, suas faixas de submedição, e os volumes relativos às submedições (P_{ap2}) para os anos de 2009 e 2010:

Tabela 5.8 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Paulista (2009)

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	5.327	17	906
CPH > 3,0 m^3	20.356	5,3	1.079
			1.984

Tabela 5.9 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Paulista (2010)

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	6.219	17	1.057
CPH > 3,0 m^3	20.854	5,3	1.105
			2.162

$$P_{ap2} = 17\% V_{\text{CPH}\leq 3} + 5{,}3\% V_{\text{CPH}>3} \tag{82}$$

$$P_{ap2\,2009} = 1.984\, x10^3\, m^3 / ano$$

$$P_{ap2\,2010} = 2.162\, x10^3\, m^3 / ano$$

$$P_{ap2} = \frac{P_{ap2}}{AES} * 100 \tag{83}$$

$$P_{ap22009} = 7\%$$

$$P_{ap22010} = 7\%$$

Cálculo relativo às perdas aparentes (PA) da Coluna C:

$$PA = P_{ap1} + P_{ap2} \tag{84}$$

$$PA_{2009} = \{[138;146] + [1.984]\} x10^3 = [2.122;2.130]\, x10^3\, m^3 / ano$$

$$PA_{2010} = \{[153;161] + [2.162]\} x10^3 = [2.315;2.232]\, x10^3\, m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$PA = \frac{PA}{AES} * 100 \tag{85}$$

$$PA_{2009} = 8\%$$

$$PA_{2009} = 7\%$$

Passo 8: Calcular as perdas reais (PR) da Coluna C subtraindo as perdas aparentes (PA) da Coluna C às perdas de água (PA) da Coluna B.

$$PR = P - PA \tag{86}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{PR} = (\bar{x}_P - \bar{x}_{PA}) \tag{87}$$

$$s_{PR} = \sqrt{s_P^2 + s_{PA}^2} \tag{88}$$

$$PR = \bar{x}_{PR} \pm s_{PR} \tag{89}$$

$$\bar{x}_{PR2009} = (2.300 - 2.126)x10^3 = 174x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{PR2009} = \sqrt{(959x10^3)^2 + (4x10^3)^2} = 959x10^3 m^3 / ano$$

$$PR_{2009} = (174 \pm 959)x10^3 = [0;1.133]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{PR2010} = (3.935 - 2.319)x10^3 = 1.616x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{PR2010} = \sqrt{(1.006x10^3)^2 + (4x10^3)^2} = 1.006x10^3 m^3 / ano$$

$$PR_{2010} = (1.616 \pm 1.006)x10^3 = [610;2.622]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$PR = \frac{PR}{AES} * 100 \tag{90}$$

$$PR_{2009} = 1\%$$

$$PR_{2010} = 5\%$$

Tabela 5.10 – Balanço hídrico do setor Paulista (2009): volume em 10^3 m^3/ano

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES] **[27.526;29.147]** **[28.337±810]** **[100%±3%]**	Consumo autorizado [CA] **[25.523;26.551]** **[26.037±514]** **[92%±2%]**	Consumo autorizado faturado [CAF] **[25.169;26.197]** **[25.683±514]** **[91%±2%]**	Consumo faturado medido (inclui água faturada) [CAFM] **[25.169;26.197]** **[25.683±514]** **[91%±2%]**	Água faturada [AF] **[25.169;26.197]** **[25.683±514]** **[91%±2%]**
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF] **[344;364]** **[354±10]** **[1%±0%]**	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF] **[1.695;3.613]** **[2.654±959]** **[9%±3%]**
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P] **[1.341;3.259]** **[2.300±959]** **[8%±3%]**	Perdas aparentes [PA] **[2.122;2.130]** **[2.126±4]** **[8%±0%]**	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1] **[138;146]** **[142±4]** **[1%±0%]**	
			Incerteza de medição (macro e micromedição) [Pap_2] **1.984** **7%**	
		Perdas reais [PR] **[0;1.133]** **[174±959]** **[1%±3%]**	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)[Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição[Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição[Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

Tabela 5.11 – Balanço hídrico do setor Paulista (2010): volume em 10^3 m^3/ano

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES] **[30.554;32.250]** **[31.402±848]** **[100%±3%]**	Consumo autorizado [CA] **[26.926;28.008]** **[27.467±541]** **[87%±2%]**	Consumo autorizado faturado [CAF] **[26.533;27.615]** **[27.074±541]** **[86%±2%]**	Consumo faturado medido (inclui água faturada) [CAFM] **[26.533;27.615]** **[27.074±541]** **[86%±2%]**	Água faturada [AF] **[26.533;27.615]** **[27.074±541]** **[86%±2%]**
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF] **[382;403]** **[393±10]** **[1%±0%]**	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF] **[3.322;5.334]** **[4.328±1.006]** **[14%±3%]**
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P] **[2.929;4.941]** **[3.935±1.006]** **[13%±3%]**	Perdas aparentes [PA] **[2.315;2.323]** **[2.319±4]** **[7%±0%]**	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1] **[153;161]** **[157±4]** **[0%±0%]**	
			Incerteza de medição (macro e micromedição) [Pap_2] **2.162** **7%**	
		Perdas reais [PR] **[610;2.622]** **[1.616±1.006]** **[5%±3%]**	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição [Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

5.1.2.2 Setor Sacomã

Passo 1: Determinar o volume de água que entra no sistema (AES) e introduzi-lo na Coluna A.

Toda a gestão operacional do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) operado pela Sabesp é feita no Centro de Controle Operacional (CCO), através do Sistema de Controle Operacional do Abastecimento (Scoa), que opera à distância as válvulas de entrada dos reservatórios e a operação de elevatórias. Esse controle é possível devido à existência de um amplo sistema de macromedição no SAM, composto por medidores de vazão, pressão e nível d'água nos reservatórios setoriais e elevatórias.

A partir do Scoa, selecionando-se os itens macromedição, setor de abastecimento e ano de referência, extraiu-se os volumes acumulados da macromedição e seus respectivos pontos de medição (PM) para os anos de 2009 e 2010.

Conforme se pode notar na Tabela 5.12 e Tabela 5.13, a macromedição é feita através de um ponto de medição PM 310, cujo medidor é do tipo deprimogêneo.

Tabela 5.12 – Ponto de medição e volume macromedido do setor Sacomã (2009)

Ponto de Medição (PM)	Descrição	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM x 10^3(m3)	Participação (%)
310	Saída Jabaquara-Sacomã	Deprimogêneo	4.761	100
			4.761	

Fonte: Scoa Sabesp

Tabela 5.13 - Ponto de medição e volume macromedido do setor Sacomã (2010)

Ponto de Medição (PM)	Descrição	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM x 10^3(m3)	Participação (%)
310	Saída Jabaquara-Sacomã	Deprimogêneo	5.896	100
			5.896	

Fonte: Scoa Sabesp

$$AES = VM \pm 4\%VM \tag{91}$$

$$AES_{2009} = [4.762 \pm 190]x10^3 = [4.572;4.952]x10^3 m^3 / ano$$

$$AES_{2010} = [5.897 \pm 236]x10^3 = [5.661;6.133]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$AES = \frac{AES}{AES} * 100 \tag{92}$$

$$AES_{2009} = 100\%$$

$$AES_{2010} = 100\%$$

Passo 2: Determinar o consumo autorizado faturado medido (CAFM) e o consumo autorizado faturado não-medido (CAFNM) na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (CAF) na Coluna C e como água faturada (AF) na Coluna E.

Através do banco de dados *SQL-Server* da Sabesp foi possível a exportação em forma de planilha excel dos volumes micromedidos do setor de abastecimento que corresponde ao consumo autorizado faturado medido (CAFM), observado na Coluna D.

Os volumes micromedidos em 2009 e 2010 do setor Sacomã foram extraídos do banco de dados que constam na Tabela 5.14 e Tabela 5.15 e sua somatória deve ser inserida na Coluna D.

Tabela 5.14 – Volume micromedido do setor Sacomã (2009)

Mês	Hidrômetro CPH ≤ 3m^3 (m^3)	Hidrômetro CPH ≥ 3 m^3 (m^3)	Total (m^3)
Janeiro	168.543	133.747	302.290
Fevereiro	159.744	145.316	305.060
Março	175.077	142.475	317.553
Abril	169.657	145.644	315.301
Maio	167.204	140.912	308.116
Junho	164.848	166.996	331.845
Julho	157.261	161.837	319.097
Agosto	163.130	140.016	303.146
Setembro	164.388	138.008	302.396
Outubro	171.855	142.892	314.747
Novembro	172.992	139.677	312.669
Dezembro	177.713	144.033	321.746
Total	**2.012.412**	**1.741.554**	**3.753.966**

Fonte: Signos Sabesp

Tabela 5.15 – Volume micromedido do setor Sacomã (2010)

Mês	Hidrômetro CPH ≤ 3m^3 (m^3)	Hidrômetro CPH ≥ 3 m^3 (m^3)	Total (m^3)
Janeiro	134.902	96.727	231.629
Fevereiro	135.185	99.673	234.858
Março	133.813	98.749	232.563
Abril	141.914	103.993	245.907
Maio	103.944	90.680	194.624
Junho	136.951	104.518	241.469
Julho	131.063	97.209	228.273
Agosto	132.926	101.304	234.230
Setembro	136.666	99.976	236.642
Outubro	134.156	96.520	230.676
Novembro	134.910	98.327	233.237
Dezembro	141.118	103.738	244.855
Total	**1.597.549**	**1.191.413**	**2.788.962**

Fonte: Signos Sabesp

O medidor de Classe B é o mais empregado na maioria das ligações residenciais. Será considerada a faixa de incerteza permitida na zona superior de ±2% relativa a essa classe de medidor, conforme Figura 3.12 apresentada no Capítulo Três.

$$CAFM_{2009} = VMicro_{2009} \pm 2\% VMicro_{2009} \tag{93}$$

$$CAFM_{2009} = [3.754 \pm 75]\, x10^3 = [3.679;3.829]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$CAFM_{2010} = VMicro_{2010} \pm 2\% VMicro_{2010} \tag{94}$$

$$CAFM_{2010} = [2.789 \pm 56]\, x10^3 = [2.733;2.845]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$CAFM = \frac{CAFM}{AES} * 100 \tag{95}$$

$$CAFM_{2009} = 79\%$$

$$CAFM_{2010} = 47\%$$

A Coluna D referente ao consumo faturado não-medido (CAFNM) não será preenchida, pois não há estimativa para esse volume.

Somando-se as duas variáveis anteriores, obtêm-se os valores a serem preenchidos nas Colunas C e E, que correspondem respectivamente ao consumo autorizado faturado (CAF) e a água faturada (AF).

$$CAF = CAFM + CAFNM \tag{96}$$

$$CAF_{2009} = [3.754 \pm 75]\, x10^3 = [3.679;3.829]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$CAF_{2010} = [2.789 \pm 56]\, x10^3 = [2.733;2.845]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$CAF = \frac{CAF}{AES} * 100 \tag{97}$$

$$CAF_{2009} = 79\%$$

$$CAF_{2010} = 47\%$$

$$AF = CAFM + CAFNM \tag{98}$$

$$AF_{2009} = [3.754 \pm 75]\, x10^3 = [3.679;3.829]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$AF_{2010} = [2.789 \pm 56]\, x10^3 = [2.733;2.845]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$AF = \frac{AF}{AES} * 100 \tag{99}$$

$$AF_{2009} = 79\%$$

$$AF_{2010} = 47\%$$

Passo 3: Calcular o volume de água não-faturada (ANF) na Coluna E subtraindo a água faturada (AF) da Coluna E à água que entra no sistema (AES) da Coluna A.

$$ANF = AES - AF \tag{100}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{ANF} = \bar{x}_{AES} - \bar{x}_{AF} \tag{101}$$

$$s_{ANF} = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{AF}^2} \tag{102}$$

$$ANF = \bar{x}_{ANF} \pm s_{ANF} \tag{103}$$

$$\bar{x}_{ANF\,2009} = (4.762 - 3.754)x10^3 = 1.008x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{ANF\,2009} = \sqrt{(190x10^3)^2 + (75x10^3)^2} = 204x10^3 m^3 / ano$$

$$ANF_{2009} = [1.008 \pm 204]x10^3 = [804;1.212]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{ANF\,2010} = (5.897 - 2.789)x10^3 = 3.108x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{ANF\,2010} = \sqrt{(236x10^3)^2 + (56x10^3)^2} = 243x10^3 m^3 / ano$$

$$ANF_{2010} = [3.108 \pm 243]x10^3 = [2.865;3.351]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$ANF = \frac{ANF}{AES} * 100 \tag{104}$$

$$ANF_{2009} = 21\%$$

$$ANF_{2010} = 53\%$$

Passo 4: Definir o consumo autorizado não-faturado medido (CANFM) e o consumo autorizado não-faturado não-medido (CANFNM) na Coluna D, registrar o total em consumo autorizado não-faturado (CANF) na Coluna C.

Conforme Sabesp (2006), por não possuir dado algum devido à dificuldade de medições dessas variáveis (CANF) e (CANFNM), faz-se uma estimativa considerando-se o valor padrão utilizado no Reino Unido de 1,25% da água que entra no sistema (AES) para o consumo autorizado não-faturado (CANF).

$$CANF = 1{,}25\%\, AES \tag{105}$$

$$CANF_{2009} = \{0{,}0125x[4.572;4.952]\}\, x10^3 = [57;62]\, x10^3 m^3 / ano$$

$$CANF_{2010} = \{0{,}0125x[5.661;6.133]\}\, x10^3 = [71;77]\, x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$CANF = \frac{CANF}{AES} * 100 \tag{106}$$

$$CANF_{2009} = 1\%$$

$$CANF_{2010} = 1\%$$

Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado (CAF) e ao consumo autorizado não-faturado (CANF) da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (CA) na Coluna B.

$$CA = CAF + CANF \tag{107}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{CA} = \bar{x}_{CAF} + \bar{x}_{CANF} \tag{108}$$

$$s_{CA} = \sqrt{s_{CAF}^2 + s_{CANF}^2} \tag{109}$$

$$CA = \bar{x}_{CA} \pm s_{CA} \tag{110}$$

$$\bar{x}_{CA2009} = (3.754 + 60)x10^3 = 3.814x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{CA2009} = \sqrt{(75x10^3)^2 + (2x10^3)^2} = 75x10^3 m^3 / ano$$

$$CA_{2009} = [3.814 \pm 75]x10^3 = [3.739;3.889]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{CA2010} = (2.789 + 74)x10^3 = 2.863x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{CA2010} = \sqrt{(56x10^3)^2 + (3x10^3)^2} = 56x10^3 m^3 / ano$$

$$CA_{2010} = [2.863 \pm 56]x10^3 = [2.807;2.919]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$CA = \frac{CA}{AES} * 100 \tag{111}$$

$$CA_{2009} = 80\%$$

$$CA_{2010} = 49\%$$

Passo 6: Calcular as perdas de água (P) na Coluna B como a diferença entre a água que entra no sistema (AES) da Coluna A e o consumo autorizado (CA) da Coluna B.

$$P = AES - CA \tag{112}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_P = (\bar{x}_{AES} - \bar{x}_{CA}) \tag{113}$$

$$s_P = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{CA}^2} \tag{114}$$

$$P = \bar{x}_P \pm s_P \tag{115}$$

$$\bar{x}_{P2009} = (4.762 - 3.814)x10^3 = 948x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{P2009} = \sqrt{(190x10^3)^2 + (75x10^3)^2} = 204x10^3 m^3 / ano$$

$$P_{2009} = [948 \pm 204]x10^3 = [744;1.152]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{P2010} = (5.897 - 2.863)x10^3 = 3.034x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{P2010} = \sqrt{(236x10^3)^2 + (56x10^3)^2} = 243x10^3 m^3 / ano$$

$$P_{2010} = [3.034 \pm 243]x10^3 = [2.791;3.277]m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P = \frac{P}{AES} * 100 \tag{116}$$

$$P_{2009} = 20\%$$

$$P_{2009} = 51\%$$

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não-autorizado (Pap_1) e das incertezas de medição (Pap_2) da Coluna D, somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (PA) na Coluna C.

Cálculo da parcela relativa ao uso não-autorizado (Pap_1) da Coluna D:

$$P_{ap1} = 0{,}50\% \, x \, AES \tag{117}$$

$$P_{ap12009} = \{0{,}005 \, x [4.572;4.952]\} \, x10^3 = [23;25] \, x10^3 \, m^3 / ano$$

$$P_{ap12010} = \{0{,}005 \, x [5.661;6.133]\} \, x10^3 = [28;31] \, x10^3 \, m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P_{ap1} = \frac{P_{ap1}}{AES} * 100 \tag{118}$$

$$P_{ap12009} = 1\%$$

$$P_{ap12010} = 1\%$$

Cálculo da parcela relativa às incertezas de medição (Pap_2) da Coluna D:

A Tabela 5.16 e Tabela 5.17 são apresentados os volumes para hidrômetros de pequena e grande capacidade, suas faixas de submedição e os volumes relativos às submedições (P_{ap2}) para os anos de 2009 e 2010:

Tabela 5.16 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Sacomã (2009)

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	2.012	17	342
CPH > 3,0 m^3	1.742	5,3	92
			434

Tabela 5.17 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Sacomã (2010)

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	1.598	17	272
CPH > 3,0 m^3	1.191	5,3	63
			335

$$P_{ap2} = 17\% V_{\text{CPH}\leq 3} + 5{,}3\% V_{\text{CPH}>3} \tag{119}$$

$$P_{ap2\,2009} = 434\, x10^3\, m^3 / ano$$

$$P_{ap2\,2010} = 335\, x10^3\, m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P_{ap2} = \frac{P_{ap2}}{AES} * 100 \tag{120}$$

$$P_{ap22009} = 9\%$$

$$P_{ap22010} = 6\%$$

Cálculo relativo às perdas aparentes (PA) da Coluna C:

$$PA = P_{ap1} + P_{ap2} \tag{121}$$

$$PA_{2009} = \{[23{,}25] + [434]\} x10^3 = [457;459]\, x10^3\, m^3 / ano$$

$$PA_{2010} = \{[28;31] + [335]\} x10^3 = [336;367]\, x10^3\, m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$PA = \frac{PA}{AES} * 100 \tag{122}$$

$$PA_{2009} = 10\%$$

$$PA_{2009} = 6\%$$

Passo 8: Calcular as perdas reais (PR) da Coluna C subtraindo as perdas aparentes (PA) da Coluna C às perdas de água (PA) da Coluna B.

$$PR = P - PA \tag{123}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{PR} = (\bar{x}_P - \bar{x}_{PA}) \tag{124}$$

$$s_{PR} = \sqrt{s_P^2 + s_{PA}^2} \tag{125}$$

$$PR = \bar{x}_{PR} \pm s_{PR} \tag{126}$$

$$\bar{x}_{PR2009} = (948 - 458)x10^3 = 490x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{PR2009} = \sqrt{(204x10^3)^2 + (1x10^3)^2} = 204x10^3 m^3 / ano$$

$$PR_{2009} = (490 \pm 204)x10^3 = [286;694]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{PR2010} = (3.034 - 365)x10^3 = 2.669x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{PR2010} = \sqrt{(243x10^3)^2 + (2x10^3)^2} = 243x10^3 m^3 / ano$$

$$PR_{2010} = (2.669 \pm 243)x10^3 = [2.426;2.912]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$PR = \frac{PR}{AES} * 100 \tag{127}$$

$$PR_{2009} = 10\%$$

$$PR_{2010} = 45\%$$

Tabela 5.18 – Balanço hídrico do setor Sacomã (2009): volume em 10^3 m^3/ano

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES] **[4.572;4.952] [4.762±190] [100%±4%]**	Consumo autorizado [CA] **[3.739;3.889] [3.814±75] [80%±2%]**	Consumo autorizado faturado [CAF] **[3.679;3.829] [3.754±75] [79%±2%]**	Consumo faturado medido (inclui água faturada) [CAFM] **[3.679;3.829] [3.754±75] [79%±2%]**	Água faturada [AF] **[3.679;3.829] [3.754±75] [79%±2%]**
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF] **[57;62] [60±2] [1%±0%]**	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF] **[804;1.212] [1.008±204] [21%±4%]**
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P] **[744;1.152] [948±204] [20%±4%]**	Perdas aparentes [PA] **[457;459] [458±1] [10%±0%]**	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1] **[23;25] [24±1] [1%±0%]**	
			Incerteza de medição (macro e micromedição) [Pap_2] **434 9%**	
		Perdas reais [PR] **[286;694] [490±204] [10%±4%]**	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição [Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

Tabela 5.19 – Balanço hídrico do setor Sacomã (2010): volume em 10^3 m^3/ano

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES] **[5.661;6.133] [5.897±236] [100%±4%]**	Consumo autorizado [CA] **[2.807;2.919] [2.863±56] [49%±1%]**	Consumo autorizado faturado [CAF] **[2.733;2.845] [2.789±56] [47%±1%]**	Consumo faturado medido (inclui água faturada) [CAFM] **[2.733;2.845] [2.789±56] [47%±1%]**	Água faturada [AF] **[2.733;2.845] [2.789±56] [47%±1%]**
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF] **[71;77] [74±3] [1%±0%]**	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF] **[2.865;3.351] [3.108±243] [53%±4%]**
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P] **[2.791;3.277] [3.034±243] [51%±4%]**	Perdas aparentes [PA] **[363;367] [365±2] [6%±0%]**	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1] **[28;31] [30±2] [1%±0%]**	
			Incerteza de medição (macro e micromedição) [Pap_2] **335 6%**	
		Perdas reais [PR] **[2.426;2.912] [2.669±243] [45%±4%]**	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição [Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

5.1.2.3 Setor Vila Alpina

Passo 1: Determinar o volume de água que entra no sistema (AES) e introduzi-lo na Coluna A.

Toda a gestão operacional do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) operado pela Sabesp é feita no Centro de Controle Operacional (CCO), através do Sistema de Controle Operacional do Abastecimento (Scoa), que opera à distância as válvulas de entrada dos reservatórios e a operação de elevatórias. Esse controle é possível devido à existência de um amplo sistema de macromedição no SAM, composto por medidores de vazão, pressão e nível d'água nos reservatórios setoriais e elevatórias.

A partir do Scoa, selecionando-se os itens macromedição, setor de abastecimento e ano de referência, extraiu-se os volumes acumulados da macromedição e seus respectivos pontos de medição (PM) para os anos de 2009 e 2010.

Conforme se pode notar na Tabela 5.20 e Tabela 5.21, a macromedição é feita através de um ponto de medição PM 160, cujo medidor é do tipo deprimogêneo.

Tabela 5.20 – Ponto de medição e volume macromedido do setor Vila Alpina (2009)

Ponto de Medição (PM)	Descrição	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM x 10^3(m^3)	Participação (%)
160	Ent. Vila Alpina	Deprimogêneo	19.406	100
			19.406	

Fonte: Signos Sabesp

Tabela 5.21 - Ponto de medição e volume macromedido do setor Vila Alpina (2010)

Ponto de Medição (PM)	Descrição	Tipo de Macromedidor	Volume Macromedido VM x 10^3(m^3)	Participação (%)
160	Ent. Vila Alpina	Deprimogêneo	19.933	100
			19.933	

Fonte: Signos Sabesp

$$AES = VM \pm 4\%VM \tag{128}$$

$$AES_{2009} = [19.406 \pm 776]x10^3 = [18.630;20.182]x10^3 m^3 / ano$$

$$AES_{2010} = [19.933 \pm 797]x10^3 = [19.136;20.730]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$AES = \frac{AES}{AES} * 100 \tag{129}$$

$$AES_{2009} = 100\%$$

$$AES_{2010} = 100\%$$

Passo 2: Determinar o consumo autorizado faturado medido (CAFM) e o consumo autorizado faturado não-medido (CAFNM) na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (CAF) na Coluna C e como água faturada (AF) na Coluna E.

Através do banco de dados *SQL-Server* da Sabesp foi possível a exportação em forma de planilha excel dos volumes micromedidos do setor de abastecimento que corresponde ao consumo autorizado faturado medido (CAFM), observado na Coluna D.

Os volumes micromedidos em 2009 e 2010 do setor Vila Alpina foram extraídos do banco de dados SQL-Server da Sabesp que constam na Tabela 5.22 e Tabela 5.23 e sua somatória deve a ser inserida na Coluna D:

Tabela 5.22 – Volume micromedido do setor Vila Alpina (2009)

Mês	Hidrômetro CPH ≤ 3m^3 (m^3)	Hidrômetro CPH ≥ 3 m^3 (m^3)	Total (m^3)
Janeiro	802.790	213.038	1.015.828
Fevereiro	661.856	186.358	848.214
Março	854.562	246.693	1.101.255
Abril	766.733	252.094	1.018.827
Maio	819.922	245.511	1.065.433
Junho	788.051	240.562	1.028.613
Julho	776.170	234.229	1.010.399
Agosto	810.839	251.801	1.062.640
Setembro	810.811	249.092	1.059.903
Outubro	808.069	247.429	1.055.498
Novembro	827.978	256.596	1.084.574
Dezembro	851.376	263.496	1.114.872
Total	**9.579.157**	**2.886.899**	**12.466.056**

Fonte: Signos Sabesp

Tabela 5.23 – Volume micromedido do setor Vila Alpina (2010)

Mês	Hidrômetro CPH ≤ 3m^3 (m^3)	Hidrômetro CPH ≥ 3 m^3 (m^3)	Total (m^3)
Janeiro	769.415	198.720	968.136
Fevereiro	731.590	204.548	936.138
Março	778.172	218.338	996.510
Abril	772.102	221.649	993.751
Maio	752.835	222.137	974.972
Junho	741.623	220.031	961.655
Julho	743.779	216.975	960.754
Agosto	753.595	223.575	977.170
Setembro	773.291	226.654	999.944
Outubro	763.916	227.910	991.826
Novembro	776.636	229.457	1.006.093
Dezembro	770.355	224.416	994.772
Total	**9.127.309**	**2.634.411**	**11.761.720**

Fonte: Signos Sabesp

O medidor de Classe B é o mais empregado na maioria das ligações residenciais. Será considerada a faixa de incerteza permitida na zona superior de ±2% relativa a essa classe de medidor, conforme Figura 3.12 apresentada no Capítulo Três.

$$CAFM_{2009} = VMicro_{2009} \pm 2\% VMicro_{2009} \tag{130}$$

$$CAFM_{2009} = [12.466 \pm 249]\, x10^3 = [12.217;12.715]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$CAFM_{2010} = VMicro_{2010} \pm 2\% VMicro_{2010} \tag{131}$$

$$CAFM_{2010} = [11.762 \pm 235]\, x10^3 = [11.527;11.997]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$CAFM = \frac{CAFM}{AES} * 100 \tag{132}$$

$$CAFM_{2009} = 64\%$$

$$CAFM_{2010} = 59\%$$

A Coluna D referente ao consumo faturado não-medido (CAFNM) não será preenchida, pois não há estimativa para esse volume.

Somando-se as duas variáveis anteriores, obtêm-se os valores a serem preenchidos nas Colunas C e E, que correspondem respectivamente ao consumo autorizado faturado (CAF) e a água faturada (AF).

$$CAF = CAFM + CAFNM \tag{133}$$

$$CAF_{2009} = [12.466 \pm 249]\, x10^3 = [12.217;12.715]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$CAF_{2010} = [11.762 \pm 235]\, x10^3 = [11.527;11.997]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$CAF = \frac{CAF}{AES} * 100 \tag{134}$$

$$CAF_{2009} = 64\%$$

$$CAF_{2010} = 59\%$$

$$AF = CAFM + CAFNM \tag{135}$$

$$AF_{2009} = [12.466 \pm 249]\, x10^3 = [12.217;12.715]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

$$AF_{2010} = [11.762 \pm 235]\, x10^3 = [11.527;11.997]\, x10^3\, \mathrm{m}^3/\mathrm{ano}$$

Cálculo em percentual:

$$AF = \frac{AF}{AES} * 100 \tag{136}$$

$$AF_{2009} = 64\%$$

$$AF_{2010} = 59\%$$

Passo 3: Calcular o volume de água não-faturada (ANF) na Coluna E subtraindo a água faturada (AF) da Coluna E à água que entra no sistema (AES) da Coluna A.

$$ANF = AES - AF \tag{137}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{ANF} = \bar{x}_{AES} - \bar{x}_{AF} \tag{138}$$

$$s_{ANF} = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{AF}^2} \tag{139}$$

$$ANF = \bar{x}_{AES} \pm s_{ANF} \tag{140}$$

$$\bar{x}_{ANF\,2009} = (19.406 - 12.466)x10^3 = 6.940x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{ANF\,2009} = \sqrt{(776x10^3)^2 + (249x10^3)^2} = 815x10^3 m^3 / ano$$

$$ANF_{2009} = [6.940 \pm 815]x10^3 = [6.125;7.755]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{ANF\,2010} = (19.933 - 11.762)x10^3 = 8.171x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{ANF\,2009} = \sqrt{(797x10^3)^2 + (235x10^3)^2} = 831x10^3 m^3 / ano$$

$$ANF_{2010} = [8.171 \pm 831]x10^3 = [7.340;9.002]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$ANF = \frac{ANF}{AES} * 100 \tag{141}$$

$$ANF_{2009} = 36\%$$

$$ANF_{2010} = 41\%$$

Passo 4: Definir o consumo autorizado não-faturado medido (CANFM) e o consumo autorizado não-faturado não-medido (CANFNM) na Coluna D, registrar o total em consumo autorizado não-faturado (CANF) na Coluna C.

Conforme Sabesp (2006), por não possuir dado algum devido à dificuldade de medições dessas variáveis (CANF) e (CANFNM), faz-se uma estimativa considerando-se o valor padrão utilizado no Reino Unido de 1,25% da água que entra no sistema (AES) para o consumo autorizado não-faturado (CANF).

$$CANF = 1{,}25\%\, AES \tag{142}$$

$$CANF_{2009} = \{0{,}0125x[18.630;20.182]\}\, x10^3 = [233;252]\, x10^3 m^3 / ano$$

$$CANF_{2010} = \{0{,}0125x[19.136;20.730]\}\, x10^3 = [239;259]\, x10^3 m^3 / ano$$

$$CANF = \frac{CANF}{AES} * 100 \tag{143}$$

$$CANF_{2009} = 1\%$$

$$CANF_{2010} = 1\%$$

Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado (CAF) e ao consumo autorizado não-faturado (CANF) da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (CA) na Coluna B.

$$CA = CAF + CANF \tag{144}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{CA} = \bar{x}_{CAF} + \bar{x}_{CANF} \tag{145}$$

$$s_{CA} = \sqrt{s_{CAF}^2 + s_{CANF}^2} \tag{146}$$

$$CA = \bar{x}_{CA} \pm s_{CA} \tag{147}$$

$$\bar{x}_{CA2009} = (12.466 + 243)x10^3 = 12.709x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{CA2009} = \sqrt{(249x10^3)^2 + (9x10^3)^2} = 249x10^3 m^3 / ano$$

$$CA_{2009} = [12.709 \pm 249]x10^3 = [12.460;12.958]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{CA2010} = (11.762 + 249)x10^3 = 12.011x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{CA2010} = \sqrt{(235x10^3)^2 + (10x10^3)^2} = 235x10^3 m^3 / ano$$

$$CA_{2010} = [12.011 \pm 235]x10^3 = [11.776;12.246]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$CA = \frac{CA}{AES} * 100 \tag{148}$$

$$CA_{2009} = 65\%$$

$$CA_{2010} = 60\%$$

Passo 6: Calcular as perdas de água (PA) na Coluna B como a diferença entre a água que entra no sistema (AES) da Coluna A e o consumo autorizado (CA) da Coluna B.

$$P = AES - CA \tag{149}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_P = (\bar{x}_{AES} - \bar{x}_{CA}) \tag{150}$$

$$s_P = \sqrt{s_{AES}^2 + s_{CA}^2} \tag{151}$$

$$P = \bar{x}_P \pm s_P \tag{152}$$

$$\bar{x}_{P2009} = (19.406 - 12.709)x10^3 = 6.697x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{P2009} = \sqrt{(776x10^3)^2 + (249x10^3)^2} = 815x10^3 m^3 / ano$$

$$P_{2009} = [6.697 \pm 815]x10^3 = [5.882;7.512]x10^3 m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{P2010} = (19.933 - 12.011)x10^3 = 7.922x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{P2010} = \sqrt{(797x10^3)^2 + (235x10^3)^2} = 831x10^3 m^3 / ano$$

$$P_{2010} = [7.922 \pm 831] x 10^3 = [7.091;8.753] m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P = \frac{P}{AES} * 100 \quad (153)$$

$$P_{2009} = 35\%$$

$$P_{2009} = 40\%$$

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não-autorizado (Pap_1) e das incertezas de medição (Pap_2) da Coluna D, somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (PA) na Coluna C.

Cálculo da parcela relativa ao uso não-autorizado (Pap_1) da Coluna D:

$$P_{ap1} = 0{,}50\% \, x \, AES \quad (154)$$

$$P_{ap12009} = \{0{,}005 \, x [18.630;20.182]\} \, x 10^3 = [93;101] \, x 10^3 \, m^3 / ano$$

$$P_{ap12010} = \{0{,}005 \, x [19.136;20.730]\} \, x 10^3 = [96;104] \, x 10^3 \, m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$P_{ap1} = \frac{P_{ap1}}{AES} * 100 \quad (155)$$

$$P_{ap12009} = 0\%$$

$$P_{ap12010} = 1\%$$

Cálculo da parcela relativa às incertezas de medição (Pap_2) da Coluna D:

A Tabela 5.24 e Tabela 5.25 são apresentados os volumes para hidrômetros de pequena e grande capacidade, suas faixas de submedição e os volumes relativos às submedições (P_{ap2}) para os anos de 2009 e 2010:

Tabela 5.24 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Vila Alpina (2009)

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	9.579	17	1.628
CPH > 3,0 m^3	2.887	5,3	153
			1.781

Tabela 5.25 – Cálculo de submedição média dos hidrômetros do setor Vila Alpina (2010)

Hidrômetro	Volume (10^3 m^3)	Submedição (%)	P_{ap2} (10^3 m^3)
CPH ≤ 3,0 m^3	9.127	17	1.552
CPH > 3,0 m^3	2.634	5,3	140
			1.691

$$P_{ap2} = 17\% V_{\text{CPH}\leq 3} + 5{,}3\% V_{\text{CPH}>3} \tag{156}$$

$$P_{ap2\,2009} = 1.781 x 10^3 m^3 / ano$$

$$P_{ap2\,2010} = 1.691 x 10^3 m^3 / ano$$

$$P_{ap2} = \frac{P_{ap2}}{AES} * 100 \tag{157}$$

$$P_{ap22009} = 9\%$$

$$P_{ap22010} = 8\%$$

Cálculo relativo às perdas aparentes (PA) da Coluna C:

$$PA = P_{ap1} + P_{ap2} \tag{158}$$

$$PA_{2009} = \{[93;101] + [1.781]\}x10^3 = [1.874;1.882]\,x10^3\,m^3 / ano$$

$$PA_{2010} = \{[96;104] + [1.691]\}x10^3 = [1.787;1.795]\,x10^3\,m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$PA = \frac{PA}{AES} * 100 \tag{159}$$

$$PA_{2009} = 10\%$$

$$PA_{2009} = 9\%$$

Passo 8: Calcular as perdas reais (PR) da Coluna C subtraindo as perdas aparentes (PA) da Coluna C às perdas de água (PA) da Coluna B.

$$PR = P - PA \tag{160}$$

Cálculo da propagação da incerteza:

$$\bar{x}_{PR} = (\bar{x}_P - \bar{x}_{PA}) \tag{161}$$

$$s_{PR} = \sqrt{s_P^2 + s_{PA}^2} \tag{162}$$

$$PR = \bar{x}_{PR} \pm s_{PR} \tag{163}$$

$$\bar{x}_{PR2009} = (6.697 - 1.878)x10^3 = 4.819x10^3\,m^3 / ano$$

$$s_{PR2009} = \sqrt{(815x10^3)^2 + (4x10^3)^2} = 815x10^3\,m^3 / ano$$

$$PR_{2009} = (4.819 \pm 815)x10^3 = [4.004;5.634]x10^3\,m^3 / ano$$

$$\bar{x}_{PR2010} = (7.922 - 1.791)x10^3 = 6.131x10^3 m^3 / ano$$

$$s_{PR2010} = \sqrt{(831x10^3)^2 + (4x10^3)^2} = 831x10^3 m^3 / ano$$

$$PR_{2010} = (6.131 \pm 831)x10^3 = [5.300;6.962]x10^3 m^3 / ano$$

Cálculo em percentual:

$$PR = \frac{PR}{AES} * 100 \tag{164}$$

$$PR_{2009} = 25\%$$

$$PR_{2009} = 31\%$$

Tabela 5.26 – Balanço hídrico do setor Vila Alpina (2009): volume em 10^3 m^3/ano

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES] **[18.630;20.182]** **[19.406±776]** **[100%±4%]**	Consumo autorizado [CA] **[12.460;12.958]** **[12.709±249]** **[65%±1%]**	Consumo autorizado faturado [CAF] **[12.217;12.715]** **[12.466±249]** **[64%±1%]**	Consumo faturado medido (inclui água faturada) [CAFM] **12.217;12.715]** **[12.466±249]** **[64%±1%]**	Água faturada [AF] **12.217;12.715]** **[12.466±249]** **[64%±1%]**
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF] **[233;252]** **[243±9]** **[1%±0%]**	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF] **[6.125;7.755]** **[6.940±815]** **[36%±4%]**
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P] **[5.882;7.512]** **[6.697±815]** **[35%±4%]**	Perdas aparentes [PA] **[1.874;1.882]** **[1.878±4]** **[10%±0%]**	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1] **[93;101]** **[97±4]** **[0%±0%]**	
			Incerteza de medição (macro e micromedição) [Pap_2] **1.781** **9%**	
		Perdas reais [PR] **[4.004;5.634]** **[4.819±815]** **[25%±4%]**	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição [Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

Tabela 5.27 – Balanço hídrico do setor Vila Alpina (2010): volume em 10^3 m^3/ano

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema [AES] **[19.136;20.730]** **[19.933±797]** **[100%±4%]**	Consumo autorizado [CA] **[11.776;12.246]** **[12.011±235]** **[60%±1%]**	Consumo autorizado faturado [CAF] **[11.527;11.997]** **[11.762±235]** **[59%±1%]**	Consumo faturado medido (inclui água faturada) [CAFM] **[11.527;11.997]** **[11.762±235]** **[59%±1%]**	Água faturada [AF] **[11.527;11.997]** **[11.762±235]** **[59%±1%]**
			Consumo faturado não-medido (estimados) [CAFNM]	
		Consumo autorizado não-faturado [CANF] **[239;259]** **[249±10]** **[1%±0%]**	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.) [CANFM]	Água não-faturada (perdas comerciais) [ANF] **[7.340;9.002]** **[8.171±831]** **[41%±4%]**
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.) [CANFNM]	
	Perdas de água [P] **[7.091;8.753]** **[7.922±831]** **[40%±4%]**	Perdas aparentes [PA] **[1.787;1.795]** **[1.791±4]** **[9%±0%]**	Uso não-autorizado (fraudes e falhas de cadastro) [Pap_1] **[96;104]** **[100±4]** **[1%±0%]**	
			Incerteza de medição (macro e micromedição) [Pap_2] **1.691** **8%**	
		Perdas reais [PR] **[5.300;6.962]** **[6.131±831]** **[31%±4%]**	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) [Pr_1]	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição [Pr_2]	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [Pr_3]	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) [Pr_4]	

5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a elaboração dos balanços hídricos dos três setores de abastecimento foram obtidos os resultados resumidos na Tabela 5.28 e na Tabela 5.29:

Tabela 5.28 – Balanços hídricos dos setores (2009): em volume e em porcentagem

Setor	Unidade	Perda Real	Perda Aparente	Perda Total
	10^3 m^3/ano	[0;1.133]	[2.122;2.130]	[1.341;3.259]
Paulista	10^3 m^3/ano	[174±959]	[2.126±4]	[2.300±959]
	%	[1%±3%]	[8%±0%]	[8%±3%]
	10^3 m^3/ano	[286;694]	[457;459]	[744;1.152]
Sacomã	10^3 m^3/ano	[490±204]	[458±1]	[948±204]
	%	[10%±4%]	[10%±0%]	[20%±4%]
	10^3 m^3/ano	[4.004;5.634]	[1.874;1.882]	[5.882;7.512]
Vila Alpina	10^3 m^3/ano	[4.819±815]	[1.878±4]	[6.697±815]
	%	[25%±4%]	[10%±0%]	[35%±4%]

Tabela 5.29 – Balanços hídricos dos setores (2010): volume em 10^3 m^3/ano

Setor	Unidade	Perda Real	Perda Aparente	Perda Total
	10^3 m^3/ano	[610;2.622]	[2.315;2.323]	[2.929;4.941]
Paulista	10^3 m^3/ano	[1.616±1.006]	[2.319±4]	[3.935±1.006]
	%	[5%±3%]	[7%±0]	[13%±3%]
	10^3 m^3/ano	[2.426;2.912]	[363;367]	[2.791;3.277]
Sacomã	10^3 m^3/ano	[2.669±243]	[365±2]	[3.034±243]
	%	[45%±4%]	[6%±0%]	[51%±4%]
	10^3 m^3/ano	[5.300;6.962]	[1.787;1.795]	[7.091;8.753]
Vila Alpina	10^3 m^3/ano	[6.131±831]	[1.791±4]	[7.922±831]
	%	[31%±4%]	[9%±0%]	[40%±4%]

Em virtude das dificuldades para a obtenção de dados detalhados para todos os componentes de consumo, as operadoras recorrem a valores estimados que acabam incorrendo em margens de incertezas. Essas margens de incertezas,

especialmente dos volumes utilizados como dados de entrada no balanço, podem corresponder a erros significativos, tornando muito difícil um Balanço Hídrico sem qualquer nível de incerteza.

Este trabalho reforça a afirmação anterior, na medida em que alguns dados utilizados para a elaboração dos Balanços Hídricos aqui estudados também foram estimados em razão da dificuldade de medições de seus respectivos volumes.

Para se contornar o problema da inexistência dos dados, tanto os Consumos de Água Não-Faturados (CANF) como os Usos Não-Autorizados, que correspondem às fraudes e falhas de cadastros (Pap_1), valeram-se de estimativas considerando-se valores padrões internacionais encontrados na literatura.

Para as incertezas das medições, recomendam-se ensaios de bancada ou em campo para se chegar a uma melhor estimativa das submedições. Foram utilizados para os cálculos dos volumes micromedidos, valores estudados e obtidos nesses ensaios, pela Sabesp, para as incertezas de medidores de pequena e grande capacidade. Já, para os volumes obtidos das macromedições, foram adotadas as faixas máximas de incertezas consultadas na bibliografia existente.

No que tange aos indicadores de perdas calculados através dos Balanços Hídricos, diversas análise podem ser feitas.

As perdas reais calculadas para os setores Paulista e Sacomã para o ano de 2009 estão muito abaixo se comparadas aos valores calculados para o ano de 2010. Estas perdas provavelmente indicam que os setores de abastecimentos não estavam totalmente fechados, podendo dessa forma a água destinada para o setor estudado estar abastecendo parte de outro setor, tornando o valor micromedido bem maior que o valor macromedido.

Além disso, observa-se que a perda real do setor Paulista, em 2009, está dentro do limite de incerteza entre [0,1.553], porém Tardelli Filho (2006) afirma que não é possível se atingir uma “perda zero” nos sistemas de abastecimento de água, mas possibilidade maior é a de se contar com níveis de perdas aceitáveis, tendo em vista que os sistemas são constituídos por tubulações enterradas e pressurizadas, com possíveis ocorrências de vazamentos não visíveis, e medidores de vazão com um certo grau de imprecisão.

Já para o balanço hídrico do setor Paulista, em 2010, apesar do limite superior da perda real estar acima da perda aparente, demonstra certo equilíbrio entre elas. Devido à proximidade de seus valores, dependendo da faixa de incerteza em que cada componente se encontrar, ora a perda real pode ser mais alta que a perda aparente, ora a perda aparente ser mais alta que a perda real ou ainda ambas estarem muito próximas entre si. Desta forma, os gestores devem procurar uma proporção entre as ações adotadas, concentrando os esforços na adoção de ações para o controle e redução das perdas reais e das perdas aparentes.

Ainda com relação ao balanço do setor Paulista (2010), pode-se observar que a faixa de incerteza calculada para as perdas reais, seu limite superior é praticamente o dobro que o limite inferior e para as perdas aparentes o limite inferior e superior estão bem próximos. O método adotado para os cálculos do balanço hídrico, *top-down,* possibilita que as incertezas sejam acumuladas às perdas reais, já que são determinadas primeiramente as perdas aparentes e, posteriormente, as perdas reais são obtidas por diferença entre as perdas totais e as perdas aparentes. Para se minimizar esse problema, recomenda-se também a adoção do método *botton up*, através do monitoramento contínuo da vazão mínima noturna para a determinação das perdas reais, evitando-se desta forma maiores erros nas estratégias definidas pela companhia de saneamento.

Para os setores Sacomã (2010) e Vila Alpina (2009, 2010), nota-se que as perdas reais e suas respectivas faixas de incertezas são bem maiores que as perdas aparentes. Tendo em vista que as perdas reais, que correspondem principalmente aos volumes perdidos em vazamentos, onerarão o tratamento, transporte e distribuição da água, causados pelo acréscimo da energia elétrica consumida, produtos químicos, mão-de-obra, etc.; além da preocupação com a conservação dos recursos hídricos; os gestores das operadoras devem dar maior foco para as ações voltadas ao controle e redução das perdas reais já detalhadas neste trabalho, tais como: controle e detecção de vazamentos, controle de pressão e de nível de reservatórios, rapidez e qualidade dos reparos, melhoria dos materiais e da manutenção e remanejamento das tubulações.

Vale ressaltar que para os cálculos dos três balanços hídricos dos setores comentados acima, observa-se o mesmo problema ocorrido para o balanço hídrico

do setor Paulista para o ano de 2010, ou seja, os reflexos maiores se deram nos limites de incertezas relativos às perdas reais, sobretudo para o setor Vila Alpina (2010), em contrapartida, para as perdas aparentes, os limites inferiores e superiores encontram-se muito próximo entre si. Para se evitar que os cálculos para as perdas reais fiquem superestimados e para as perdas aparentes subestimadas, torna-se recomendável então, aliar-se ambos os métodos para o cálculo do balanço hídrico, *top down* e *botton up*, onde poderão ser confrontados os resultados relativos aos volumes das perdas reais.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O programa de redução de perdas traz melhorias da qualidade operacional dos sistemas de abastecimento e conseqüentes benefícios dos serviços prestados. Além disso, proporciona maior eficiência na gestão da demanda de água como forma de adiar as ações necessárias à expansão da oferta, que seria viabilizada através de novas opções de mananciais, minimizando, sobretudo, os impactos ambientais causados por grandes obras.

O cálculo do balanço hídrico é de extrema importância para que o programa seja bem sucedido. Porém, as incertezas de suas variáveis traz questionamentos se o mesmo é realmente confiável ou ainda qual é seu grau de confiabilidade. Esta confiabilidade está diretamente relacionada às incertezas de medições e à confiança dos dados, que por sua vez, está associada à qualidade dos registros.

O trabalho mostrou que foram utilizados valores estimados de diversas variáveis devido à ausência de medições, e que, quando acumulados, podem corresponder a valores significativos. Para o consumo autorizado não-faturado foram utilizados valores estimativos relativos a estudos internacionais, recomenda-se, portanto para estudos futuros que se façam medições e elaborem melhores estimativas que retratem a realidade do país, tais como consumos em favelas, usos próprios e combate a incêndio. Da mesma forma, valeu-se de valores estimados para as incertezas de medição causadas pela imprecisão dos medidores. Devido a isso, recomendam-se para futuras pesquisas, estudos que utilizem análises estatísticas mais aprofundadas, tendo como exemplo, a avaliação por intermédio de estudos estatísticos da fração da água não medida pelos medidores, podendo estas análises ser agrupadas conforme suas características (micro e macromedidores) e tipo de uso (medidores domésticos e não domésticos).

Destaca-se que é importante que o balanço hídrico apresente de forma transparente quais dados foram estimados, medidos ou calculados em função dos primeiros, bem como as incertezas correspondentes.

Por fim, reduzir as incertezas é bom, mas vale ressaltar que, principalmente, em situações onde elas sejam elevadas, dar o devido destaque a essa informação pode ser muito importante para o conhecimento do problema e a definição das medidas mais adequadas para a redução e controle de perdas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, H. *et al.* **Performance indicators for water supply services:** manual of best practice. 2nd ed. London: IWA Publishing, 2006. 389 p.

ALLIANCE – ALIANÇA PARA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA. **Água e energia:** aproveitando as oportunidades de eficientização de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais. Washington: Alliance, 2002. 160 p.

ARREGUI, F.; CABRERA Jr., E; COBACHO, R. **Integrate water meter management.** London: IWA Publishing, 2006. 272 p.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water audits and loss control programs (Manual of water supply practices; M36).** 3rd ed. Denver, CO, 2009.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water conservation programs**: a planning manual. 1st ed. Denver, CO, 2006.

BANCO MUNDIAL. **Recursos hídricos e saneamento na Região Metropolitana de São Paulo**: um desafio do tamanho da cidade. Brasília, 2003. 84 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.** Documento Técnico de Apoio – DTA A3, Brasília, 2003. 80 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.** Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, Brasília, 2007. 5 v.

BRASIL. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.** Documentos Técnicos de Apoio – DTA C3. Brasília, 1999. 31 p.

CASTRO, J. D. **Todo sobre medidores de água.** Lima: Indecopi, 2004. 232 p.

CHARALAMBOUS, B. The Effects of Intermittent Supply on Water Distribution Networks. In: IWA WATER LOSS 2012, Manila. **Anais...** Manila, 2012.

COELHO, C. C. **Micromedição em sistemas de abastecimento de água.** João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009. 348 p.

COVAS, D.; RAMOS, H. Minimização de perdas em sistemas de abastecimento. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P.L.I., organizadores. **Abastecimento de água:** o estado da arte e técnicas avançadas. João Pessoa: UFPB, Editora Universitária, 2007. cap. 3, p. 47–66.

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S. A. **As unidades de informações territorializadas.** Disponível em: <http://www.emplasa.sp.gov.br/portalemplasa/uit>. Acesso em: 6 abr. 2011.

EPA – Environmental Protection Agency. **Advanced pressure management an PRV selection**: managing and reducing losses from water distribution system. Queensland, 2005. v. 5.

EPA – Environmental Protection Agency. **The economics of water loss management**: managing and reducing losses from water distribution system. Queensland, 2004. v. 3.

FANNER, P. Determining a validated water balance in an unmeasured system and understanding unmeasured residential customer consumption. In: WATER LOSS 2009: CONFERENCE PROCEEDINGS, 2009, South Africa. **Anais...** Cape Town, 2009.

FARLEY, M. R. Are there Alternatives to DMA? In: WATER LOSS 2012: CONFERENCE PROCEEDINGS, 2012, Manila. **Anais...** Manila, 2012.

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in water distribution networks:** a practioner´s guide to assessment, monitoring and control. London: IWA Piblishing, 2003.

GALVÃO, J. R. B. **Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estudo de caso:** rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2007. 247 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2007.

GALVÃO, R. M. O. (Coord.). **Tratamento estatístico de dados experimentais.** Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GOMES, H. P. **Sistemas de abastecimento de água:** dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 2. ed. João Pessoa: UFPB, Editora Universitária, 2004. 242 p.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional de água e energia:** conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352 p.

HELENE, O. A. M.; VANIN, V.R. **Tratamento estatístico de dados em física experimental**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 105 p.

HELLER, L.; PADUA V.L. (Coord.). **Abastecimento de água para consumo humano.** 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v.

HELOU, L.C.; HELOU, G.C.N. Equipamentos de medição. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. cap. 6. p. 209-216.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 8 maio 2012.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Vocabulário Internacional de Metrologia:** conceitos fundamentais e gerais e termos associados. 1ª ed. brasileira, 2009.

IWA – International Water Association. Disponível em: <http://www.iwahq.org> Acesso em: 09 set. 2010.

JOHNSON, E. H. Case Studies Demonstrate the Implications of Metering Errors. In: IWA WATER LOSS 2012, Manila. **Anais...** Manila, 2012.

LAMBERT, A.; TAYLOR, R. **Water loss guidelines.** New Zealand: Water New Zealand, 2010.

LAMBERT, A.; THORNTON, J. **Avaliação de perdas reais.** São Paulo: Consultoria à SABESP, 2002.

LAMBERT, A.; THORNTON, J. Pressure: Bursts relationships: influence of pipe materials, validation of scheme results, and implications of extended asset life. In: IWA WATER LOSS 2012, Manila. **Anais...** Manila, 2012.

LIEMBERGER, R. *et al*. Water loss performance indicators. In: IWA WATER LOSS 2007, Bucharest. **Anais...** Bucharest, 2007. v1. p. 148

MAYS, L. W. (Ed.). **Water resources handbook.** Arizona: Mc Graw-Hill, 1996. 33.35 p

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água:** aplicação no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2010. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010.

MIRANDA, C. M. **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água:** indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade. 2002. 200 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2002.

MIRANDA, C. M. Gerenciamento de perdas de água, In: HEELER; L; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. cap. 17. p 801-828. 2 v.

MIRANDA, C. M. **Sistema de informação em saneamento:** a experiência do SNIS. Paraíba: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público.** 2010. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Review of methods and tools for managing losses in water distribution systems. **Journal of Water Resources Planning and Management.** New York, v. 138, n.3, 2012.

NAGHETTINI, M.; PINTO E. J. A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. 572 p.

NIELSEN, M. J.; TREVISAN, J.; BONATO A.; SACHET, M. A. C. **Medição de água: estratégias e experimentações.** Curitiba: Sanepar. 2003. 200 p.

OLIVEIRA, H. A. **Uso de simuladores hidráulicos e aplicativos de geoprocessamento para diagnóstico operacional de sistemas de distribuição de água – estudo de caso: setor Sacomã, município de São Paulo.** 2011. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2011.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: < http://www.ons.org.br>. Acesso em: 7 jun. 2012.

PALAU, C. V.; ARREGUI, F. J. Burst detection in water networks using principal component analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management.** New York, v.138, n.1, 2012.

PALO, P. R. **Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnóstico de perdas de água**. 2010. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010.

PARACAMPOS, F. J. F. **Heading for an efficient water loss control São Paulo experience.** Bonn: UNW-DPC International Workshop: Drinking Water Loss Reduction: Developing Capacity for Applying Solutions, 2008.

PARACAMPOS, F. J. F. Indicadores de perdas na Região Metropolitana de São Paulo: A aplicação da proposta da IWA. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador, 2002.

PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Disponível em: <http://www.pmss.gov.br>. Acesso em: 3 set. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/vila_prudente/historico/index.php?p=369>. Acesso em: 7 abr. 2011.

PRINCE, A. A. Rede de distribuição, In: HEELER; L; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. cap. 14. p 615-691. 2 v.

PROCEL SANEAR – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica no Setor de Saneamento. Disponível em: http://www.eletrobras.com/elb/procel. Acesso em: 1 out. 2011.

PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. **Uso racional de água e energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352 p.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Apostila do curso de perdas.** São Paulo: SABESP, 2005.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Estudo de adequação da rede primária e projeto executivo de água do setor vila alpina.** São Paulo: SABESP, 1996.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Manual de orientação das atividades de saneamento básico.** São Paulo: SABESP, 2003.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Norma Técnica Sabesp NTS 280:** Calibração de macromedidores em campo. São Paulo: SABESP, 2008.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Plano diretor de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo: SABESP, 2006.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Planos integrados regionais. Unidade de Negócio Centro - Diretoria Metropolitana.** São Paulo: SABESP, 2006.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Planos integrados regionais. Relatório síntese - Diretoria Metropolitana.** São Paulo: SABESP, 2011.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Programa de indicadores de desempenho de perdas de água *Fastcalc* Brasil**: Manual do usuário. São Paulo: SABESP, 2006.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Projeto da nova configuração da rede primária do setor Sacomã na área da Unidade de Negócios Centro – Vice Presidência Metropolitana de Distribuição.** São Paulo: SABESP, 1996.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Serviços técnicos de engenharia para readequação do sistema de distribuição de água do setor Avenida.** São Paulo: SABESP, 1996.

SHINTATE, L.; REGO, A. C.; GONDO, J. Y. Hidrômetros. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. cap. 11. p. 453-560.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: http://www.snis.gov.br. Acesso em: 3 maio. 2012

SOS BILLINGS. **A represa Billings.** Disponível em: <http://www.sosbillings.org.br>. Acesso em: 20 mar. 2011

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. cap. 10. p. 457-525.

THORNTON, J. **Water loss control manual.** 1st ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

THORNTON, J.; LAMBERT, A. O. Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs. In: IWA WATER LOSS 2007, Bucharest. **Anais...** Bucharest, 2007. v2. p. 511.

THORNTON, J.; STHURM, R.; KUNKEL, G. **Water loss control manual***.* 2nd ed. New York: Mc Graw-Hill, 2008. 632 p.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TSUTIYA, M. T. **Redução dos custos de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água.** 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Ambiental, 2001. 185 p.

VICENTINI, L. P.; PARACAMPOS, F. J. F. Programa de redução de perdas de água tratada na Região Metropolitana de São Paulo – Unidade de Negócio Centro da Diretoria Metropolitana da Sabesp. In: 2º Simpósio PCJ: Experiências em gestão dos recursos hídricos por bacia hidrográfica, 2010, Atibaia, **Anais...** Atibaia, 2010.