DÉBORA SOARES MELATO

**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**

**São Paulo
2010**

DÉBORA SOARES MELATO

**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**

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

Área de concentração: Saneamento

**Orientador:
Prof. Dr. Kamel Zahed Filho**

**São Paulo
2010**

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, 30 de abril de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Melato, Débora Soares

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 / D.S. Melato. -- ed.rev. -- São Paulo, 2010.

133 p.

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

1. Abastecimento de água 2. Redes de distribuição de água 3. Perdas de água I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.

DEDICATÓRIA

*Ao querido e saudoso
Prof. Dr. Milton Tomoyuki Tsutiya (in memorian),
por tudo que me ensinou, pela felicidade e pela honra
de poder ter convivido com esta pessoa tão especial e
importante para o setor de saneamento no Brasil.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Milton Tomoyuki Tsutiya (in memorian), pelo exemplo, dedicação, caráter, amizade, pela honra de suas orientações iniciais, e que infelizmente nos deixou no meio deste trabalho, não podendo ver sua conclusão, sendo um dos últimos trabalhos sob sua orientação.

Ao Professor Doutor Kamel Zahed Filho, por aceitar a orientação deste trabalho no meio do caminho, por sua dedicação, incentivo, análise cuidadosa e cujas contribuições fizeram com que ele fosse aprimorado.

Aos Doutores Pedro Além Sobrinho, Renato Zambon e Edevar Luvizotto Junior, pelas análises e valorosas contribuições a este trabalho.

À Sabesp, onde tenho a satisfação e o orgulho de trabalhar, em especial ao meu *coach* Eng. Francisco Paracampos, por me conduzir à área de redução de perdas de água, por todas as oportunidades e por me apoiar nos momentos difíceis. Ao Eng. Jairo Tardelli Filho, por me incentivar no ingresso do mestrado e por seus conhecimentos. Ao meu chefe Eng. Fábio Denapoli, pela compreensão, apoio e paciência nesta fase de estudos. E também a todos os colegas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

À minha querida e amada filha Melissa, que surgiu na minha vida no meio do desenvolvimento desta dissertação, fazendo com que tivesse menos tempo para me dedicar, mas trazendo muito alegria e ainda mais motivação para concluir este trabalho, e que ela possa entender os momentos em que não pude me dedicar a ela.

Acima de tudo, agradeço aos meus queridos pais, Rômulo e Dileuza, por tudo que sou, por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado. Agradeço também a minha irmã Gisele, por me ajudar a cuidar da Melissa nos momentos em que não pude estar ao lado dela para me dedicar aos estudos.

E finalmente, agradeço a Deus, por tudo que tenho e consegui até hoje.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma discussão de metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água, auxiliando na determinação do perfil das perdas, permitindo uma melhor priorização das ações de combate e redução de perdas reais (físicas) e perdas aparentes (comerciais).

Para o desenvolvimento desta metodologia, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, onde é apresentada a conceituação geral sobre perdas de água, suas causas e ocorrências, indicadores, ações para redução, e uma abordagem detalhada quanto às metodologias existentes para avaliação de perdas e ferramentas disponíveis para isto.

A metodologia aqui aplicada desenvolve a avaliação das perdas através do balanço hídrico, utilizando o *software* gratuito desenvolvido pelo Banco Mundial (*W-B Easy Calc* - v1.17), e foi aplicada no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Foram levantados os dados básicos de controle do sistema e realizados ensaios de campo, com medições de pressão e ensaios para determinação das perdas aparentes.

Como estudo de caso, a metodologia foi aplicada em três setores de abastecimento da área central da RMSP, com características distintas. Os resultados do diagnóstico das perdas foram coerentes com as expectativas. Em função dos resultados, em cada setor deverá ser desenvolvida uma estratégia específica para a redução de perdas.

Palavras-chave: Perdas de água. Diagnóstico. *W-B Easy Calc*. Perdas reais (físicas). Perdas aparentes (comerciais).

ABSTRACT

This study presents a discussion of a methodology for diagnosis and actions to reduce water losses, to assist in determining the profile of water losses, allowing a better prioritization of actions to combat and reduce real (physical) losses and apparent (commercial) losses.

For developing the methodology, it was conducted an extensive bibliography review, where is presented the general concepts on water losses, its causes and events, indicators, actions to reduce, and a detailed discussion about the existing methodologies to assess losses and tools available for this.

The applied methodology consists of an assessment of losses through the water balance, using free software developed by the World Bank (WB Easy Calc - v1.17) and it was applied in the water supply system in metropolitan region of Sao Paulo. To do this, it was necessary to collect basic data of system control and field tests, with pressure measurements and tests to determine apparent losses.

As case study, the methodology was applied in three supply zones at the central area of metropolitan region of Sao Paulo, with different characteristics. The results of water losses diagnosis were consistent with expectations. With these results, a specific strategy should be developed in each sector for reducing losses.

Keywords: Water losses. Diagnosis. *W-B Easy Calc*. Real (physical) losses. Apparent (commercial) losses.

APRESENTAÇÃO

Débora Soares Melato, a autora deste trabalho, trabalha na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) desde 1994, e atua na área de controle e redução de perdas de água desde 1998.

Com o presente trabalho, tem a intenção de apresentar uma discussão de metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água, aplicada na região metropolitana de São Paulo, que possa ajudar a compreender melhor as perdas de água, para priorizar as ações de combate e redução com mais eficácia, otimizando os recursos disponíveis, para consequentemente reduzir as perdas de forma mais eficiente.

Como o tema de redução de perdas de água é relativamente novo, e há poucas publicações nacionais sobre o assunto, com dados mais pertinentes aos sistemas de abastecimento e distribuição de água no Brasil, especialmente aqueles que abastecem as grandes metrópoles, espera-se que este trabalho possa servir como base e exemplo, além de contribuir para aqueles que desejarem realizar o diagnóstico das perdas em seu sistema.

Ao apresentar os resultados utilizando um *software* gratuito, tem-se a intenção de que esta metodologia esteja acessível e disponível a todos que desejarem e se interessarem, podendo ser aplicada em qualquer sistema que tenha os dados necessários disponíveis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação espacial do índice de perdas de faturamento para o conjunto de prestadores participantes do SNIS em 2006, distribuído por faixas percentuais segundo os estados brasileiros.....	22
Figura 2 – Classificação dos Vazamentos.	31
Figura 3 – Perdas de água de sistemas urbanos em %.....	37
Figura 4 – Componentes da Vazão Mínima Noturna.	50
Figura 5 – Componentes do controle e redução de perdas reais.....	62
Figura 6 – Síntese das ações de perdas reais segundo o tipo de vazamento	66
Figura 7 - Componentes do Controle e Redução de Perdas Aparentes.	67
Figura 8 - Síntese das ações para o controle e redução de perdas aparentes.	70
Figura 9 – Instalação de uma Válvula Redutora de Pressão.....	73
Figura 11 – Técnico utilizando o geofone eletrônico.	75
Figura 10 - Técnico utilizando a haste de escuta.	75
Figura 12 – Correlacionador de ruídos.....	76
Figura 13 – Pesquisa de Vazamentos com gás.	77
Figura 14 - Comparativo entre um trecho de rede antigo e outro reabilitado.	78
Figura 15 – Ramal antigo antes da troca.	79
Figura 16 – Ramal trocado	80
Figura 17 - Calibração anual de macromedidor.	81
Figura 18 - Troca preventiva de hidrômetro de pequena capacidade.	81
Figura 19 - Fraude do tipo <i>by-pass</i>	82
Figura 20 - Fraude do tipo hidrômetro travado com arame.	82
Figura 21 - Ligações clandestinas em favela.	83
Figura 22 – Balanço Hídrico extraído do software <i>W-B Easy Calc</i>	89
Figura 23 – Indicadores de performance: Nível de serviço e Volume de perdas físicas.	90
Figura 24 – Indicadores de performance de perdas físicas.....	91
Figura 25 – Indicadores de performance financeira e de perdas comerciais.	91
Figura 26 – Setores de abastecimento da MC, destacando-se Mooca, Paulista e Jd. São Pedro/Jd. da Conquista.....	92

Figura 27 – Gráfico de pressão do PPMS da zona baixa do Setor Mooca.	94
Figura 28 - Gráfico de pressão do PPMS da zona alta do Setor Mooca.	95
Figura 29 - Gráfico de pressão do PPMS da zona baixa do Setor Paulista.	96
Figura 30 – Gráfico de pressão do PPMS da zona alta do setor Paulista.....	96
Figura 31 - Gráfico de pressão do PPMS do setor Jd. Conquista/Jd. São Pedro.	97
Figura 32 – Planilha “Start”/Início.	100
Figura 33 – Planilha “Sys. Input”/Entrada do sistema.	101
Figura 34 – Planilha “Billed Cons”/Consumo faturado.....	102
Figura 35 – Planilha “Unb. Cons.”/Consumo não faturado.....	103
Figura 36 – Planilha “Unauth. Cons.”/Consumo não autorizado.	104
Figura 37 – Planilha “Meter errors”/Erros dos medidores.....	105
Figura 38 – Planilha “Network”/Rede.	106
Figura 39 – Planilha “Pressure”/Pressão.....	107
Figura 40 – Planilha “Intermittent supply”/Abastecimento intermitente.....	108
Figura 41 – Planilha “Financial Data”/Dados financeiros.....	109
Figura 42 – Balanço hídrico do setor Mooca.....	110
Figura 43 – Principais indicadores de performance do setor Mooca.....	111
Figura 44 – Gráfico de comparação IIE setor Mooca com dados internacionais.....	112
Figura 45 – Gráfico de Perdas de água – Volume e valor (custo) do setor Mooca.	112
Figura 46 - Balanço hídrico do setor Paulista.....	114
Figura 47 - Principais indicadores de performance do setor Paulista.....	115
Figura 48 - Gráfico de comparação IIE setor Paulista com dados internacionais. ...	116
Figura 49 - Gráfico de Perdas de água – Volume e valor (custo) setor Paulista.....	116
Figura 50 - Balanço hídrico dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista.	118
Figura 51 - Principais indicadores de performance dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista.	119
Figura 52 - Gráfico de comparação IIE setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista com dados internacionais.	120
Figura 53 - Gráfico de Perdas de água – Volume e valor (custo) dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista.....	120
Figura 54 – Exemplo de análise de variância do “FastCalc”.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores médios de perda real.	39
Tabela 2 – Valores usados como parâmetros para cálculo das perdas reais inevitáveis anuais.	40
Tabela 3 – Cálculo das componentes das Perdas Reais Anuais Inevitáveis.	41
Tabela 4 - Guia geral para avaliação do Banco Mundial.	43
Tabela 5 – Matriz do Balanço Hídrico da IWA.	45
Tabela 6 – Alguns softwares gratuitos para cálculo do balanço hídrico e indicadores de performance da IWA.	48
Tabela 7 – Resultados dos testes de FCI.	57
Tabela 8 - Tarefas e ferramentas para desenvolvimento da estratégia.	59
Tabela 9 – Principais dados dos setores estudados em 2008.	93
Tabela 10 – Comparativo dos resultados para o setor Mooca.	122
Tabela 11 - Comparativo dos resultados para o setor Paulista.	122
Tabela 12 - Comparativo dos resultados dos setores Jd. S. Pedro/Jd Conquista...	122
Tabela 13 – Principais resultados da aplicação da metodologia.	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPF	Volume anual atual de perdas físicas
ABENDE	Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos
AESBE	Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
AWWA	American Water Works Association
BABE	Bursts and Background Estimates
BNH	Banco Nacional de Habitação
CPH	Capacidade do Hidrômetro
DMA	District Metered Area
DTA	Documentos Técnicos de Apoio
EEA	European Environment Agency
FAVAD	Fixed and Variable Area Discharge
FCI	Fator de Condição de Infraestrutura
FND	Fator Noite/Dia
IIE	Índice Infraestrutural de Perdas
ILI	Infrastructure Leakage Index
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IWA	International Water Association
IWSA	International Water Supply Association
IAWQ	International Water Quality Association
LYSA	Lyonnaise Des Eaux Services Associés
MAPF	Volume mínimo atingível de perdas físicas
MC	Unidade de Negócio Centro
MHLW	Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan
OFWAT	Office of Water Services - England and Wales
PDCA	Sigla em Inglês de “Plan, Do, Check and Action”
PECOP	Plano Estadual de Controle de Perdas
PEDOP	Programa de Controle e Desenvolvimento da Operação
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PPMS	Ponto de Pressão Média do Setor
PAAI	Perda Aparente Anual Inevitável

PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PR	Procedimento
PRAI	Perda Real Anual Inevitável
Q	Vazão
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SEDU/PR	Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República
SIGNOS	Sistema de Informações Geográficas no Saneamento
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades
VRP	Válvula Redutora de Pressão
WB	World Bank
WRC	Water Research Centre

LISTA DE SÍMBOLOS

IP	Indicador Percentual
IPR	Índice de perdas por ramal
T	Percentual do ano em que o sistema está pressurizado
IPER	Índice de perdas por extensão de rede
IIE	Índice Infraestrutural de Perdas
Lm	Comprimento de rede
Nc	Número de ramais
Lp	Extensão entre a testada do imóvel e o hidrômetro
P	Pressão média de operação
Q_1	Vazão do vazamento à pressão P_1
Q_0	Vazão do vazamento à pressão P_0
P_2	Pressão no instante 2
P_1	Pressão no instante 1
P_0	Pressão no instante 0
N_1	Coeficiente exponencial da relação vazão/pressão
FCI	Fator de Condição da Infraestrutura

SUMÁRIO

1	OBJETIVOS	17
2	INTRODUÇÃO	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	A PROBLEMÁTICA DAS PERDAS.....	21
3.2	HISTÓRICO	23
3.2.1	A Importância da <i>International Water Association</i> (IWA)	26
3.3	CONCEITOS.....	29
3.3.1	Perdas Reais	30
3.3.2	Perdas Aparentes	33
3.4	INDICADORES DE PERDAS	35
3.4.1	Indicador Percentual	36
3.4.2	Índice de Perdas por Ramal e por Extensão de Rede	37
3.4.3	Índice Infraestrutural de Perdas	39
3.5	AVALIAÇÃO DAS PERDAS.....	44
3.5.1	Balanço Hídrico.....	44
3.5.2	Avaliação da Vazão Mínima Noturna	49
3.5.3	Método BABE	51
3.5.4	Ensaio de Campo para Avaliação das Perdas	52
3.6	ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS	57
3.6.1	Gestão e Envolvimento	60
3.7	AÇÕES PARA REDUÇÃO DE PERDAS REAIS.....	62
3.7.1	Controle de Pressão	63
3.7.2	Controle Ativo de Vazamentos.....	64
3.7.3	Agilidade e Qualidade dos Reparos.....	64
3.7.4	Gerenciamento da Infraestrutura	65
3.8	AÇÕES PARA REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES.....	66
3.8.1	Redução da Imprecisão dos Medidores.....	68
3.8.2	Qualificação da Mão-de-obra.....	68
3.8.3	Combate às Fraudes e Ligações Clandestinas.....	68

3.8.4	Melhorias no Sistema Comercial	69
3.9	EXPERIÊNCIAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO.....	71
3.9.1	Ações para Redução das Perdas Reais	71
3.9.2	Ações para Redução das Perdas Aparentes	80
4	METODOLOGIA.....	84
4.1	INTRODUÇÃO.....	84
4.2	DEFINIÇÃO DO SOFTWARE A SER UTILIZADO.....	84
4.3	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	84
4.4	LEVANTAMENTO DE DADOS	85
4.4.1	Ensaio de Campo.....	87
4.5	CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO.....	88
4.6	CÁLCULO DOS INDICADORES DE PERFORMANCE.....	89
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	92
5.1	ESTUDO DE CASO	92
5.2	ENSAIOS DE CAMPO	93
5.2.1	Medição de Pressão	94
5.2.2	Ensaio para Determinação das Perdas Aparentes	97
5.3	CÁLCULO DOS BALANÇOS, INDICADORES E GRÁFICOS	99
5.3.1	Setor Mooca.....	99
5.3.2	Setor Paulista.....	113
5.3.3	Setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista	117
5.4	COMPARAÇÃO COM OUTRO SOFTWARE.....	121
5.5	DISCUSSÕES	123
6	CONCLUSÕES	126
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	128
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
9	APÊNDICE	133

1 OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Apresentar um levantamento bibliográfico das principais ações necessárias para a redução e controle das perdas reais e aparentes, apresentando ganhos que podem ser obtidos e formas de implementá-las, através de alguns estudos de caso e experiências na Região Metropolitana de São Paulo;
- Discutir e avaliar as metodologias para o diagnóstico das perdas de água: balanço hídrico, avaliação da vazão mínima noturna e análise das componentes das perdas no sistema de distribuição de água;
- Discutir os *softwares* disponíveis para a metodologia do balanço hídrico, bem como a comparação de seus resultados.

2 INTRODUÇÃO

A maior parte das grandes metrópoles ao redor do mundo apresenta problemas de infraestrutura, devido ao crescimento desordenado sem planejamento, especialmente nas cidades localizadas nos países em desenvolvimento, como o Brasil. Nestas áreas, observa-se alta concentração populacional, que ocasiona problemas de habitação, enchentes, transporte, emprego, segurança, educação, saúde e saneamento adequados e suficientes para todos.

Uma das maiores aglomerações urbanas do mundo, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é formada pela cidade de São Paulo e mais 39 municípios, que ocupam 8.051 km² do território paulista, com uma população em 2008 de 19.697.337 habitantes, sendo aproximadamente 11 milhões de habitantes somente na cidade de São Paulo (SEADE, 2009).

Assim como a maior parte das regiões metropolitanas, a RMSP possui um sistema de abastecimento de água heterogêneo, com materiais, idades e condições operacionais diversas, nem sempre executados com um planejamento adequado.

Além disso, as invasões e a ocupação desordenada de terrenos no entorno dos mananciais representam um grave problema para a região, que compromete a qualidade dos seus recursos hídricos. Desta forma, além da questão de escassez devido à grande concentração populacional e seu crescimento desordenado, há também o problema da qualidade desses recursos. Soma-se ainda a este problema, os altos índices de perdas encontrados nos sistemas de abastecimento das cidades brasileiras, com uma média nacional dos índices de perdas de faturamento de 39,8% em 2006 (PMSS/SNIS, 2007).

Uma das formas de minimizar todos estes problemas é a diminuição do desperdício por parte dos consumidores e a redução das perdas nos sistemas de abastecimento de água.

Para as prestadoras de serviços de saneamento, a ação mais importante a ser desenvolvida passa a ser a redução e controle de perdas nos sistemas de abastecimento de água, representando um aumento na sua eficácia e eficiência no controle operacional do sistema, além da redução de despesas, aumento do

faturamento e postergação de novos investimentos. Além disso, representa também uma melhoria da imagem da prestadora, tanto perante os consumidores como perante a sociedade, agentes financiadores e organizações internacionais.

As perdas de água num sistema de abastecimento se dividem em perdas reais (físicas) e aparentes (comerciais). As perdas reais correspondem a aquele volume de água que é realmente perdido e desperdiçado, basicamente através de vazamentos. Já as perdas aparentes correspondem ao volume de água que foi consumido, porém não foi medido e faturado pela prestadora, referindo-se basicamente às perdas comerciais. Porém, para reduzir cada uma dessas parcelas são necessárias ações distintas.

As ações básicas para redução de perdas reais são: controle da pressão, controle ativo de vazamentos, gerenciamento da infraestrutura e agilidade e qualidade dos reparos. Para redução de perdas aparentes, as ações básicas são: redução da imprecisão dos medidores, qualificação da mão-de-obra, melhorias no sistema comercial e combate às fraudes e ligações clandestinas.

A questão do controle e redução de perdas é um assunto recente no Brasil, o histórico data do início da década de 1970, e há poucas publicações nacionais sobre o assunto. Já em termos internacionais, a preocupação com a redução de perdas se inicia no século XIX. Um marco importante para o setor foi a criação da Força Tarefa de Perdas de Água (*Water Loss Task Force*) da *International Water Association* (IWA) em 1996, uma associação sem fins lucrativos de âmbito internacional com sede em Londres (Inglaterra), cujo objetivo é desenvolver e promover as melhores práticas internacionais em gerenciamento de perdas de água. Em termos internacionais, como referências das melhores práticas na área, destacam-se o Japão e Inglaterra.

Atualmente, a maioria das prestadoras no mundo tem buscado novas tecnologias e ferramentas para auxiliar no combate às perdas de água. Como as ações de redução de perdas são ações caras, e muitas vezes os orçamentos das prestadoras de saneamento não priorizam tais ações, principalmente no Brasil, cada vez mais é necessário otimizar os recursos aplicados em redução de perdas.

Entretanto, o grande desafio é diagnosticar onde e como essas perdas ocorrem, quantificar as parcelas correspondentes a perdas reais e aparentes, e elencar as

ações necessárias para reduzi-las, implementando posteriormente todas essas ações de uma maneira mais rápida e eficaz. Primeiramente faz-se necessária, então, uma avaliação das perdas através da auditoria das águas, utilizando-se metodologias de avaliação de perdas consagradas e aplicadas internacionalmente, como o balanço hídrico, podendo-se utilizar *softwares* específicos desenvolvidos para esta tarefa.

Para se realizar um diagnóstico adequado, é necessário o desenvolvimento de uma metodologia, a utilização das ferramentas adequadas, conhecimento detalhado do sistema a ser aplicada, confiabilidade dos dados, e por fim a interpretação e entendimento dos resultados. Com isto, será possível direcionar melhor os recursos disponíveis e atingir o objetivo de reduzir as perdas de água de forma mais eficiente. Além disto, não é só o fator de saber o que se fazer e onde para reduzir as perdas. Como a questão de perdas é bastante complexa, envolvendo todos os setores das prestadoras, tais como operação, comercial, manutenção, projetos, financeiro, entre outras, o envolvimento e comprometimento de todas essas áreas e seus respectivos empregados passa a ser fundamental também.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A PROBLEMÁTICA DAS PERDAS

A situação das prestadoras de serviços de saneamento no Brasil ainda é muito crítica, em termos de direcionamento dos recursos disponíveis. Em muitas cidades ainda há um déficit muito grande de saneamento básico, seja pela falta ainda de distribuição de água tratada para toda população, bem como principalmente pela ausência de coleta e tratamento de esgotos. Dessa forma, o controle e redução de perdas correm o risco de ficar em segundo plano.

Segundo dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2006, elaborado pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), a média nacional dos índices de perdas de faturamento em 2006 (PMSS/SNIS, 2007), que incluem perdas reais e aparentes, medidas pela relação entre os volumes faturados e disponibilizados para distribuição, foi de 39,8%, com médias regionais de 53,4% na Região Norte (maior valor médio) e de 26,6% no Sudeste (menor valor médio), existindo, porém Estados com índices maiores que 70%, conforme Figura 1. Isto demonstra que as elevadas perdas nos sistemas brasileiros continuam preocupantes, e que há uma enorme disparidade entre as prestadoras brasileiras. Cabe ressaltar ainda, que houve uma piora de 0,8% no indicador em relação a 2005, que foi de 39,0%.

Figura 1 - Representação espacial do índice de perdas de faturamento para o conjunto de prestadores participantes do SNIS em 2006, distribuído por faixas percentuais segundo os estados brasileiros. Fonte: PMSS/SNIS (2007).

Uma das causas destes elevados índices é a falta de planejamento integrado entre as diversas áreas da Prestadora de Serviços de Saneamento. A questão de perdas deve ser considerada desde a etapa do projeto, e não apenas na operação do sistema. Além disso, o problema não é somente de engenharia, mas também de recursos humanos, de comunicação, de contabilidade, de controle financeiro, de planejamento, de mobilização social, de educação e cultura, enfim, de todas as áreas e agentes (MIRANDA, 2007).

Outro aspecto é o aumento natural das perdas. Se nada for feito, haverá o surgimento de novos vazamentos, deterioração das redes de distribuição, envelhecimento do parque de hidrômetros, aumento das fraudes, etc. Portanto, são necessários esforços para, primeiramente, conter este crescimento natural, para depois, reduzir as perdas.

Há vários problemas associados às perdas de água, tais como:

- Desempenho operacional: o nível de perdas é um dos principais indicadores de desempenho operacional de uma prestadora de serviços de saneamento;
- Imagem da prestadora: perante a população e consumidores, altos índices de perdas demonstram ineficiência e desperdício;
- Aspectos financeiros: reduzir perdas significa redução de despesas, aumento de faturamento e postergação de investimentos;
- Danos à população: os vazamentos podem gerar sinistros, e eventualmente a despressurização do sistema de distribuição pode contaminar a água pela entrada de agentes nocivos na tubulação;
- Preservação dos recursos hídricos: altos índices de perdas reais requerem a ampliação da captação, do tratamento e do transporte de volumes maiores de água do que o necessário, implicando em maiores gastos com energia elétrica e produtos para o tratamento. Além disto, se faz necessário buscar água cada vez mais longe.

Outro aspecto importante é a realização de um diagnóstico de perdas bem feito e confiável. A maioria das prestadoras calcula, periodicamente, o seu indicador, pois a avaliação de perdas totais é uma apuração simples e relativamente fácil de ser feita, sendo obtida simplesmente pela diferença entre o volume entregue ao sistema e os volumes autorizados e medidos. Porém, um diagnóstico adequado das perdas, através da quantificação das perdas reais e das perdas aparentes é uma tarefa mais difícil e complexa, que exige a aplicação de hipóteses e a realização de testes e ensaios em campo. Por isso, a maioria não faz essa quantificação. Dessa forma, não há um correto direcionamento das ações, com desperdício de recursos, os quais normalmente são escassos, e não há uma redução eficaz das perdas.

Reduzir perdas não é fácil, pois é uma questão complexa, que necessita de um bom diagnóstico, conhecimento técnico, envolvimento, esforços e recursos contínuos e permanentes.

3.2 HISTÓRICO

A questão do controle e redução de perdas é um assunto recente no Brasil. O histórico data do início da década de 1970 e é apresentado a seguir (SABESP, 2005 e ARIKAWA, 2005):

- Início, na década de 70, das primeiras iniciativas institucionais, com recursos financiados pelo antigo Banco Nacional de Habitação (BNH), com as ações básicas de micromedição, pitometria, pesquisa e detecção de vazamentos não visíveis;
- Em 1981, constituição da Comissão Nacional de Controle de Perdas pelo 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. 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;
- Meados de 1981 – Contrato da Sabesp com a Lyonnaise Des Eaux Services Associés (LYSA) - Programa de Redução de Águas Não-Faturadas – para identificar o nível real e a composição das perdas físicas e não-físicas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo uma das primeiras tentativas neste sentido, e também 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 da Sabesp sofreu reformulações em sua abrangência, dando maior ênfase na ação global de planejamento, controle e desenvolvimento da operação, originando o Programa de Controle e Desenvolvimento da Operação (PEDOP), propondo uma Ação Global de Planejamento em 8 subprogramas:
 - I. Micromedição;
 - II. Redução e Controle de vazamentos;
 - III. Macromedição;
 - IV. Pitometria;

- V. Desenvolvimento da Operação;
 - VI. Revisão dos Critérios de Projeto e Construção e Desenvolvimento da Qualidade dos Materiais e Equipamentos;
 - VII. Cadastro dos Sistemas Existentes e de Grandes Consumidores;
 - VIII. Segurança dos Sistemas.
- Em 1995, houve a criação do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA), por meio do Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). O SNIS constitui-se numa base para diagnósticos, contendo informações coletadas e indicadores de desempenho, referentes a uma amostra de Prestadoras de Serviços de Saneamento;
 - Em 1997, o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), financiado pela União, foi desenvolvido pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU/PR), por intermédio de convênio firmado com a Fundação para Pesquisa Ambiental da Universidade de São Paulo. O convênio teve como escopo a realização de estudos especializados e a organização de um conjunto de 16 Documentos Técnicos de Apoio (DTA) às atividades do Programa, nas áreas de planejamento das ações de conservação, de tecnologia dos sistemas públicos de abastecimento de água e de tecnologia dos sistemas prediais de água e de esgoto;
 - Em 1998, a Fase II do PNCDA incluiu a produção de mais 4 DTAs;
 - Em 1999-2000 foi desenvolvido o Programa de Qualificação e Certificação em Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos sob Pressão, pela Associação Brasileira de Ensaio Não-Destrutivos (ABENDE) e pela Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (AESBE);
 - Em 2002, foi realizado o Seminário Internacional sobre Programas de Redução e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água, em Recife – PE, pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano (SEDU/PR) por meio do Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS).
 - Em 2006, foi realizado o Seminário Internacional sobre Eficiência Operacional, promovido pela Sabesp em São Paulo – SP.

Já em termos internacionais, a preocupação com a redução de perdas se inicia no século XIX e é apresentada a seguir, segundo Arikawa (2005) e Thornton *et al* (2008):

- 1800 – 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;
- 1900 - pesquisa de vazamentos com utilização de geofone mecânico simples e uso dos primeiros dispositivos mecânicos de medição;
- 1940 – são introduzidos os primeiros geofones eletrônicos;
- 1970 – pesquisa de vazamentos com utilização de correlacionadores de ruídos computadorizados;
- 1980 – primeiros *data loggers* operados por bateria;
- 1980 – Inglaterra – Leakage Control Policy and Practice - Relatório 26 - Redução de Perdas Físicas – Water Research Centre (WRC);
- 1980 – Estados Unidos da América – Manual M36 - Auditoria de Perdas - American Water Works Association (AWWA);
- 1992-1994 – Inglaterra – Conceito da Estimativa de Vazamentos Inerentes e Arrebentados (em inglês: *Bursts and Background Estimates* – BABE) – United Kingdom National Leakage Control Initiative;
- 1994 – Inglaterra – Controle de Perdas (9 Informes): Managing Leakage – Reports A to J - WRC;
- 1994-1998 – Inglaterra – Seção de Descarga Constante e Variável (em inglês: *Fixed and Variable Area Discharge* – FAVAD);
- 1996-2000 – Força Tarefa IWA – Introdução de Terminologia Padrão, Indicadores de Performance e Melhores Práticas.

A criação da Força Tarefa de Perdas da IWA foi um marco muito importante em termos de Controle e Redução de Perdas, e a partir desta data, será descrito mais detalhadamente a seguir.

3.2.1 A IMPORTÂNCIA DA *INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION* (IWA)

A IWA é uma associação sem fins lucrativos de âmbito internacional, que foi criada oficialmente em 1999, da junção de duas outras associações internacionais: a *International Water Supply Association* (IWSA), criada em 1947 e a *International Water Quality Association* (IAWQ), que foi originalmente estabelecida como *International Association for Water Pollution Research*, em 1965 (IWA, 2008).

A missão da IWA é criar e fomentar uma rede mundial de profissionais ligados à água, provendo serviços e produtos, através de conferências, seminários, publicações, fóruns, grupos de especialistas e forças tarefas, objetivando avançar nas melhores práticas para um gerenciamento sustentável de água.

As forças tarefas foram criadas para que seus membros se concentrassem em assuntos específicos e desafiadores, para estabelecer as melhores práticas, incluindo sumários e manuais, além de definir as políticas da IWA com relação a aquele assunto estratégico.

Com relação à questão perdas de água, destaca-se, em 1996, a criação da Força Tarefa de Perdas de Água (*Water Loss Task Force*), cujo objetivo é desenvolver e promover as melhores práticas internacionais em gerenciamento de perdas de água através de:

- Grupos de atividade focados em desenvolver as melhores práticas em redução e controle de perdas de água;
- Trocar informações numa base internacional de parâmetros chaves de gerenciamento de perdas de água e de indicadores de performance recomendados pela IWA;
- Avaliar, preparar e contribuir para as publicações, workshops, e conferências da IWA para promover as melhores práticas internacionais em gerenciamento de perdas de água;
- Publicar e manter atualizadas as bibliografias de trabalhos relevantes publicados, estudos de caso e manuais de melhores práticas da IWA no assunto perdas;
- Manter uma ligação com a força tarefa de Indicadores de Performance da IWA.

A Força Tarefa de Perdas de Água foi fundamental no desenvolvimento da padronização internacional da terminologia, do balanço hídrico, dos conceitos, estratégias e, principalmente, indicadores, permitindo a comparação entre sistemas em qualquer lugar do mundo, como será discutido mais detalhadamente no item 3.4 sobre indicadores. Atualmente, conta com mais de 65 membros ativos, de 27 diferentes países e é responsável pela publicação dos principais livros internacionais sobre o assunto, listados a seguir:

- *Performance Indicators for Water Supply Services*, ALEGRE, H., BAPTISTA, J. M., CABRERA, E. JR., CUBILLO, F., DUARTE, P., HIRNER, W., MERKEL, W. PARENA, R., 2000 (1ª edição) e 2006 (2ª edição): nestes livros a IWA padronizou em 2000 a terminologia e definição 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. A segunda edição em 2006 trouxe uma versão revisada e consolidada destes indicadores.
- *Losses in water distribution networks, a Practitioner's guide to assessment, monitoring and control*, FARLEY, M., TROW, S., 2003: a parte mais importante deste livro é a abordagem de um diagnóstico para desenvolver uma estratégia para redução de perdas, usando ferramentas adequadas para descobrir as melhores soluções para qualquer tipo de rede de distribuição.
- *Integrated Water Meter Management*, ARREGUI, F., CABRERA, E. JR., COBACHO, R., 2006: este livro aborda aspectos relativos à micromedição, descrevendo aspectos técnicos dos hidrômetros, tais como natureza, comportamento, tecnologias, quando trocá-los, qual utilizar, como controlar sua qualidade, entre outros.
- *Guidance Notes: District Metered Area (DMA)*, 2007: esta publicação é um orientador para a atividade de implantação e gerenciamento de distritos pitométricos.
- *Guidance Notes: Leak Location and Repair*, 2007: esta publicação é um orientador para a atividade de pesquisa e reparo de vazamentos.

Além disso, mantém o *site* www.iwaom.org/wlwf com informações, fórum de discussões, canal de notícias e *downloads* gratuitos de artigos e manuais sobre o assunto. Também realiza, desde 2002, eventos anuais ao redor do mundo, para comunicar e divulgar as pesquisas e desenvolvimentos no assunto perdas: Chipre (2002); Malta e Itália (2004); Austrália, Inglaterra e Canadá (2005); Itália (2006); Romênia (2007); África do Sul 2009; e em 2010 no Brasil (a se realizar em junho de 2010 na cidade de São Paulo).

3.3 CONCEITOS

As perdas nos sistemas de abastecimento de água podem ocorrer em várias de suas etapas: na captação e adução da água bruta, na estação de tratamento de água, na adução de água tratada, nos reservatórios, nas redes de distribuição, nos ramais prediais, nas ligações de água e, finalmente, nas instalações internas dos consumidores.

Porém, a maior parcela das perdas ocorre nas etapas de adução, reservação e distribuição (redes e ramais), desde a saída do tratamento até a chegada ao consumidor final. Sendo assim, o enfoque maior é dado ao controle e redução de perdas no sistema de distribuição de água tratada. Muitas prestadoras de serviços de saneamento nem computam as perdas nas outras etapas, tendo em vista seu impacto pouco representativo. Porém, não se pode generalizar, pois isto pode não ser válido para alguns sistemas específicos.

Na Sabesp, por exemplo, em 2008, as perdas totais na distribuição foram de 27,8%, enquanto as perdas na adução foram de cerca de 3%. Além disso, os custos das perdas no sistema de distribuição também são maiores que os custos de perdas no restante do sistema de abastecimento de água. Além do volume de perdas ser significativamente maior do que as perdas existentes nas outras partes da infraestrutura, o custo unitário por metro cúbico de água tratada distribuída também é consideravelmente maior, pois se leva em conta os gastos para distribuir a água e o valor tarifário.

Sendo assim, o entendimento básico do conceito de perdas no sistema de distribuição é “a diferença entre o volume de água tratada colocada à disposição da distribuição e o volume medido nos hidrômetros dos consumidores finais em um determinado período de tempo” (SABESP, 2005).

Pela terminologia da IWA (ALEGRE *et al.*, 2006), perda de água “é o volume referente à diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não-medidos, faturados ou não-faturados, fornecidos aos consumidores cadastrados, à própria Prestadora de Serviços e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo”.

Além disso, em um sistema de abastecimento de água, as perdas totais são divididas em dois tipos de perdas: perda real ou física e perda aparente ou comercial. A grande dificuldade, na prática, é quantificar estas parcelas, isto é, das perdas totais, quanto corresponde à perda real e à aparente. Esta partição é obtida através do diagnóstico das perdas, sendo um dos objetivos desta dissertação discutir e avaliar as metodologias para isto.

Outro aspecto importante a ressaltar, é que não existe perda nula. As perdas de água ocorrem em todos os sistemas de abastecimento, apenas a quantidade perdida é que varia, pois depende das características físicas do sistema de abastecimento, de fatores e costumes locais, de práticas operacionais e do nível de tecnologia aplicada para o seu controle. Mesmo em alguns países mais desenvolvidos, onde o controle é bastante rigoroso, há ainda uma parcela de perdas, pois tecnicamente, é impossível um sistema com perda nula. Sempre haverá, por exemplo, um vazamento que demorará mesmo um tempo ínfimo para ser reparado, sempre haverá a imprecisão do hidrômetro, fraudes, etc. Portanto, temos a chamada Perda Inevitável, que corresponde ao mínimo aceitável para um sistema ideal.

3.3.1 PERDAS REAIS

A perda real corresponde ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final devido à ocorrência de vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, bem como de extravasamentos em reservatórios setoriais (TARDELLI FILHO, 2004). Representa o volume de água que foi realmente perdido, pois ninguém consumiu, sendo chamado de perda física, anteriormente à introdução da terminologia padrão pela IWA.

As perdas reais correspondem basicamente aos vazamentos do sistema, que podem ser divididos em visíveis e não visíveis, que são subdivididos em detectáveis e não detectáveis, conforme Figura 2 (ABENDE, 2003).

Figura 2 – Classificação dos Vazamentos (ABENDE, 2003).

Os vazamentos visíveis são aqueles facilmente detectados pelos técnicos da prestadora e pela população, pois afloram à superfície, tornando-se visíveis. Geralmente, os vazamentos visíveis apresentam grandes vazões de perdas por curtos períodos de ocorrência, pois são rapidamente identificados e reparados.

Os vazamentos não visíveis são os vazamentos que não afloram à superfície, podendo ser classificados em detectáveis ou não detectáveis. Os vazamentos não detectáveis são os chamados vazamentos inerentes, aqueles que não são

detectáveis nem mesmo pelos mais modernos equipamentos de detecção acústica, geralmente vazamentos com vazão menor que 250 L/h (LAMBERT, 2002). Normalmente, ocorrem nas juntas ou conexões, em que sua magnitude não permite sua detecção pelos métodos acústicos convencionais, e a aplicação de outro método mais sofisticado de detecção não se justifica economicamente.

Quanto ao tempo de ocorrência, os vazamentos não visíveis podem perdurar por alguns dias ou por meses, dependendo da política do controle ativo de vazamentos. Cabe ressaltar que a perda real, diferentemente da perda aparente, impacta na disponibilidade dos recursos hídricos e nos custos de produção de água tratada.

3.3.1.1 Causas e ocorrências das perdas reais

As causas e ocorrências mais comuns de perdas reais são apresentadas a seguir (SABESP, 2005):

a) Vazamentos e Extravasamentos em reservatórios

- Deficiência ou inexistência de automação de unidades de bombeamento e controle de nível de reservatórios;
- Falhas estruturais;
- Controle operacional ineficiente;
- Equipamento de controle de nível inadequado;
- Registros de descarga defeituosos;
- Falta ou má de definição de níveis operacionais.

b) Vazamentos em Adutoras e Redes

- Pressões elevadas;
- Variação da pressão (intermitências, perdas de carga elevadas, etc.)
- Transientes hidráulicos;
- Má qualidade de materiais dos componentes dos sistemas;
- Má qualidade da mão-de-obra utilizada na implantação e manutenção dos sistemas;
- Falhas de operação;

- Intervenção de terceiros;
- Corrosividade da água e do solo;
- Intensidade de tráfego;
- Inexistência de política de detecção de vazamentos não visíveis;
- Deficiência de projeto;
- Instabilidade do solo.

c) Vazamentos em Ramais

- Pressões elevadas;
- Transientes hidráulicos;
- Variação da pressão;
- Má qualidade de materiais dos componentes dos sistemas;
- Má qualidade da mão-de-obra utilizada na implantação e manutenção dos sistemas;
- Inadequação do ferrule;
- Falhas de operação;
- Intervenção de terceiros;
- Corrosividade da água e do solo;
- Intensidade de tráfego;
- Inexistência de política de detecção de vazamentos não visíveis;
- Deficiência no reaterro dos ramais;
- Falhas de manutenção.

3.3.2 PERDAS APARENTES

A perda aparente corresponde ao volume de água consumido, mas não contabilizado, decorrente de erros de incertezas de medição nos hidrômetros e demais medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas de cadastro comercial. Neste caso, a água é efetivamente consumida, mas não é medida e nem faturada (TARDELLI FILHO, 2004).

Esse volume de água foi aparentemente perdido, pois alguém consumiu essa água, com autorização ou não da prestadora, porém esta não teve a eficiência de medir e cobrar esse volume. Anteriormente à introdução da terminologia padrão da IWA, era chamada de perda não física.

3.3.2.1 Causas e ocorrências das perdas aparentes

As causas e ocorrências mais comuns de perdas aparentes são apresentadas a seguir (SABESP, 2005):

a) Imprecisão da medição

- Imprecisão dos macromedidores existentes nos sistemas de produção e distribuição de água;
- Má qualidade dos medidores;
- Submedição;
- Dimensionamento inadequado do medidor;
- Detritos nas redes de distribuição;
- “Efeito caixa d’água” (TARDELLI FILHO, 2004), que 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 têm erros negativos muito mais significativos. Esse efeito é muito característico no Brasil, onde a instalação de caixas d’água domiciliares está arraigada na tradição da construção civil. Entretanto, na maioria dos países não existe a caixa d’água domiciliar, e o abastecimento é feito diretamente pela carga da rede de distribuição;
- Envelhecimento do parque de hidrômetros;
- Inclinação dos hidrômetros.

b) Gestão Comercial

- Ligações clandestinas;

- Fraudes (*by pass*, violação de hidrômetro e/ou qualquer tipo de violação na ligação ativa ou inativa);
- Roubo de água em hidrantes ou em quaisquer pontos dos sistemas de redes de distribuição.
- Inexistência de hidrometração das ligações;
- Falha do Cadastro Comercial;
- Deficiência nos sistemas e nas rotinas comerciais na apuração dos consumos;
- Política tarifária, como por exemplo, tarifas mais elevadas para consumos maiores que podem favorecer o aumento de fraudes, ou tarifas fixas para favelas, que não favorecem o uso racional da água;
- Falta de acompanhamento e controles sistematizados dos consumos medidos faturados.

3.4 INDICADORES DE PERDAS

Segundo Tardelli Filho (2004), os indicadores de perdas permitem retratar a situação das perdas, gerenciar a evolução dos volumes perdidos, redirecionar ações de controle e, em princípio, comparar sistemas de abastecimento de água distintos.

Portanto, os indicadores servem tanto para se saber o nível atual das perdas, definir metas da onde pretende se chegar, bem como ir medindo o desempenho ao longo do tempo, sendo fundamental o seu cálculo periódico. É um instrumento de apoio ao monitoramento da eficiência e da eficácia, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva (ALEGRE *et al.*, 2006).

Mas, para o cálculo desses indicadores é necessária a confiabilidade dos dados utilizados no seu cálculo e a padronização do mesmo, para permitir comparações com outros sistemas, pois caso contrário, as conclusões e as decisões tomadas com o resultado deste indicador não serão eficientes.

Neste sentido, a IWA padronizou em 2000 a terminologia e definição uma série de indicadores para sistemas de abastecimento de água, onde também foram definidos

os indicadores de perdas, através da publicação *Performance Indicators for Water Supply Services – Manual of Best Practice*, cuja 2ª edição foi revisada em 2006. Dessa forma, passou a ser possível a comparação de índices de desempenho de diferentes empresas em diversos países.

Os quatro principais indicadores propostos pela IWA estão relacionados a seguir e serão detalhados a seguir:

- Indicador percentual;
- Índice de perdas por ramal;
- Índice de perdas por extensão de rede;
- Índice infraestrutural de perdas.

3.4.1 INDICADOR PERCENTUAL

O indicador percentual é o mais utilizado pelas prestadoras de serviços de saneamento, por ser o mais fácil de ser compreendido. Porém, não é o mais indicado para avaliações e comparações técnico-operacionais, pois é influenciado pelo consumo, pela presença de grandes consumidores e pelo consumo per - capita. O indicador percentual é facilmente calculado, relacionando o volume total perdido com o volume total produzido ou disponibilizado ao sistema, em bases anuais, de acordo com a equação (1):

$$\text{Indicador Percentual (IP)} = \frac{\text{volume perdido total} \times 100}{\text{volume disponibilizado}} (\%) \quad (1)$$

Atualmente, o indicador percentual não é mais recomendado como um indicador técnico para a gestão de perdas na distribuição de água. Ele é aplicado apenas para uma avaliação financeira das perdas, utilizando-se no numerador do índice os volumes referentes às águas não faturadas, e não aos volumes perdidos. Como é um indicador fácil de ser entendido, é divulgado para a população através da imprensa.

A seguir são apresentados alguns valores de indicadores de perdas em porcentagem de alguns países da Europa, Ásia e Brasil (Figura 3).

Figura 3 – Perdas de água de sistemas urbanos em %. Fonte: adaptado de EEA (2003), MHLW (2007) e PMSS/SNIS (2007).

3.4.2 ÍNDICE DE PERDAS POR RAMAL E POR EXTENSÃO DE REDE

Visando permitir a comparação entre sistemas de tamanhos diversos, foi introduzido um “fator de escala” no cálculo do indicador: a quantidade de ramais e o comprimento da rede de distribuição de água, expresso respectivamente em L/ramal/dia ou m³/km/ano.

Para sistemas com densidade de ramais por extensão de rede superior a 20 ramais/km (ALEGRE *et al.*, 2006), o que ocorre geralmente em áreas urbanas, é indicado o índice de perdas por ramal (IPR), que é calculado pela equação (2):

$$\text{Índice de perdas por ramal (IPR)} = \frac{\text{volume de perdas anual} \times T/100}{\text{número de ramais} \times 365} \text{ (L/ramal/dia)} \quad (2)$$

Onde: T = percentual do ano em que o sistema está pressurizado (%).

Já para sistemas com densidade de ramais por extensão de rede é inferior a 20 ramais/km, o que ocorre em áreas rurais e/ou menos adensadas, é indicado o índice de perdas por extensão de rede (IPER), que é calculado pela equação (3):

$$\text{Índice de perdas por extensão de rede (IPER)} = \frac{\text{volume de perdas anual} \times T/100}{\text{extensão de rede}} \text{ (m}^3\text{/km/ano)} \quad (3)$$

Para sistemas em que não há intermitência no abastecimento, T é igual a 100%. Porém, para sistemas intermitentes é difícil avaliar com precisão o percentual do ano em que o sistema está pressurizado.

Apesar destes indicadores serem melhores que o indicador porcentual, pois consideram seu tamanho e o tempo que o sistema fica pressurizado, não são perfeitos pois não levam em consideração a pressão de operação do sistema, o que influencia diretamente as perdas reais.

A seguir são apresentados alguns valores de indicadores de perdas por ramal e extensão de rede de alguns países da Europa, Oceania e Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 – Indicadores médios de perda real. Fonte: adaptado de OFWAT (2008) e PMSS/SNIS (2007).

	Perda real média	
	(L/ramal/dia)	(m ³ /km/dia)
Austrália	63	4,4
Escócia	404	21,3
Inglaterra e País de Gales	141	10,1
Países Baixos	27	1,6
Portugal	116	7,0
Sabesp (Estado de SP/Brasil)	260	25,7

3.4.3 ÍNDICE INFRAESTRUTURAL DE PERDAS

Na tentativa de aprimorar os indicadores de perdas, foi criado o Índice Infraestrutural de Perdas (IIE), em inglês *Infrastructure Leakage Index* (ILI).

O índice é calculado através da relação entre o nível atual de perdas do sistema e o nível mínimo aceitável, definido a partir do estudo das condições de sistemas bem operados na Europa.

O resultado é um número adimensional, conforme equação (4), que mostra quantas vezes o sistema está pior do que o nível tecnicamente aceitável. Dessa forma, quanto mais distante do valor unitário, pior é a condição de perdas do sistema.

$$\text{IIE (adimensional)} = \frac{\text{Perdas Reais Anuais (m}^3\text{/lig.dia)}}{\text{Perdas Inevitáveis Anuais (m}^3\text{/lig.dia)}} \quad (4)$$

Os parâmetros para o cálculo das perdas inevitáveis anuais, segundo Lambert (2009), foram inicialmente baseados em inúmeros testes em distritos pitométricos, principalmente na Inglaterra e País de Gales durante a década de 1990. Os valores usados se mostraram aceitáveis na Alemanha e Áustria, e também foram checados com vários outros testes na Austrália e Nova Zelândia.

Esses parâmetros empíricos envolveram valores de referência para vazamentos inerentes, visíveis e não visíveis. Além disto, como as perdas reais inevitáveis anuais variam com a pressão, esses parâmetros foram inicialmente especificados a pressão padrão de 50 mca. A Tabela 2 (LAMBERT *et al*, 1999) apresenta os valores de referência usados como parâmetros em bases anuais.

Tabela 2 – Valores usados como parâmetros para cálculo das perdas reais inevitáveis anuais.
Fonte: adaptado de Lambert *et al* (1999).

Componentes da Infraestrutura	Vazamentos Inerentes	Vazamentos Visíveis	Vazamentos Não Visíveis
Redes	20 litros/km/h*	0,124 arreventados/km/ano a 12 m ³ /h* com 3 dias de duração	0,006 arreventados/km/ano a 6 m ³ /h* com 50 dias de duração
Ramais até a testada da propriedade	1,25 litros/ramal/h*	2,25/ 1000 ramais/ano a 1,6 m ³ /h* com 8 dias de duração	0,75/1000 ramais/ano a 1,6 m ³ /h* com 100 dias de duração
Ramais após a testada da propriedade (extensão média de 15 m)	0,50 litros/ramal/h*	1,5/ 1000 ramais/ano a 1,6 m ³ /h* com 9 dias de duração	0,50/1000 ramais/ano a 1,6 m ³ /h* com 101 dias de duração

*Todas as vazões a 50 mca de pressão.

Para calcular as perdas reais inevitáveis é necessário levar em conta a frequência, a vazão perdida e a duração dos vazamentos visíveis e não visíveis. As frequências apresentadas na Tabela 2 foram baseadas nas médias de dados internacionais publicados, assumindo que 5% dos vazamentos de redes e 25% dos vazamentos de ramais eram não visíveis. A vazão dos vazamentos de rede varia enormemente, mas os grandes vazamentos têm uma duração menor, então a Tabela 1 efetivamente calcula o volume médio perdido por vazamento de rede a 50 mca. A vazão típica de vazamento em ramal (1,6 m³/h) foi baseada em dados publicados no Reino Unido, Brasil e Alemanha em 1994 (LAMBERT, 2009).

A Tabela 3 (LAMBERT *et al*, 1999) apresenta os valores das Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI) para cada componente da infraestrutura e tipo de vazamento, calculados a partir da Tabela 2.

Tabela 3 – Cálculo das componentes das Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI). Fonte: adaptado de Lambert *et al* (1999).

Componentes da Infraestrutura	Vaz. Inerentes	Vaz. Visíveis	Vaz. Não Visíveis	PRAI Total	Unidades
Redes	9,6	5,8	2,6	18	L/km de redes/dia/mca de pressão
Ramais, hidrômetros na testada da propriedade	0,60	0,04	0,16	0,8	L/ramal/dia/mca de pressão
Tubulação interna subterrânea entre a testada da propriedade e o hidrômetro	16,0	1,9	7,1	25	L/km tubulação interna subter./dia/mca de pressão

Com os valores de PRAI da Tabela 3, as perdas reais inevitáveis em L/dia podem ser calculadas através da equação (5):

$$\text{Perdas Reais Inevitáveis} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P \quad (5)$$

Onde:

L_m = comprimento de rede, km

N_c = número de ramais

L_p = extensão entre a testada do imóvel e o hidrômetro, m

P = pressão média de operação, mca

Como no Brasil os hidrômetros são instalados praticamente junto à testada do imóvel, o termo L_p pode ser considerado nulo (TARDELLI FILHO, 2004), e a equação (5) para perdas reais inevitáveis em m^3 /dia fica então conforme a equação 6 a seguir:

$$\text{Perdas Reais Inevitáveis} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_c) \times P/1.000 \quad (6)$$

O Índice Infraestrutural de Perdas é indicado para o cálculo das perdas reais, e leva em consideração a pressão de operação do sistema, sendo mais completo que os outros indicadores.

Atualmente o IIE é um indicador largamente aceito e utilizado pelas prestadoras de serviços de saneamento em diversos países como a melhor descrição da eficiência do gerenciamento de perdas reais em sistemas de água. Cabe ressaltar que, segundo LAMBERT (2009), apesar de algumas críticas e mesmo após 10 anos da criação da equação para cálculo do IIE, seria possível propor pequenas alterações nos coeficientes para cálculo dos parâmetros, mas o efeito na fórmula final seria muito pequeno e causaria confusões, já que a fórmula está bem estabelecida internacionalmente. Portanto, não foi proposta nenhuma alteração na fórmula até o momento.

O Banco Mundial desenvolveu um guia geral através do *software World Bank Easy Calc* (WB, 2006), apresentado na Tabela 4 e que será discutido posteriormente, estabelecendo valores de IIE e perdas reais em L/ligação x dia para sistemas de países desenvolvidos e em desenvolvimento, com diferentes faixas de pressão de operação. Dessa forma, é possível verificar se o sistema encontra-se ou não em níveis aceitáveis, e direcionar melhor as ações.

Para finalizar a questão dos indicadores de perdas, deve-se mencionar que, apesar das evoluções no assunto, ainda não existe um indicador perfeito, devendo-se analisar o conjunto dos indicadores e verificar qual retrata melhor a situação das perdas naquele sistema.

Tabela 4 - Guia geral para avaliação do Banco Mundial. Fonte: *Software World Bank Easy Calc* (WB, 2006).

Categoria de performance técnica		IIE	litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado) numa pressão média de:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
País Desenvolvido	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
País em Desenvolvimento	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

A:	Redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva.
B:	Potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e uma melhor manutenção da rede.
C:	Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos.
D:	Uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário.

3.5 AVALIAÇÃO DAS PERDAS

A avaliação das perdas corresponde basicamente a uma auditoria das águas, através de técnicas de avaliação de perdas reconhecidas e aplicadas internacionalmente.

A auditoria de água identifica o volume de água perdido e o custo do volume de perdas para a empresa. A auditoria tem como objetivo subsidiar a empresa, com dados e resultados de medições e sistemas de controle, na seleção e implementação de programas para redução de perdas no sistema de abastecimento de água.

Basicamente, existem dois métodos para avaliação geral das perdas:

- *Top-down*: conhecido como balanço hídrico;
- *Bottom-up*: conhecido como avaliação da vazão mínima noturna.

Além desses dois métodos, existe o método de análise de componentes de perdas reais BABE – *Background and Bursts Estimates*. Os três métodos serão detalhados a seguir.

3.5.1 BALANÇO HÍDRICO

O método *top-down*, consiste em avaliar as perdas por meio do cálculo do balanço hídrico “de cima para baixo”, ou seja, pelo volume de água que entra no sistema menos o volume de água consumido. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se às perdas reais. Recomenda-se utilizar o período de um ano para avaliação dos volumes.

O balanço hídrico é uma forma estruturada de avaliar os fluxos, usos e as perdas de água no sistema. É uma poderosa ferramenta de gestão, pois daí podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais.

A IWA padronizou a terminologia do balanço hídrico e propôs uma matriz, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Matriz do Balanço Hídrico da IWA. Fonte: adaptado de ALEGRE *et al* (2006)

Volume que Entra no Sistema	Consumos Autorizados	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (incluindo água exportada)	Águas Faturadas
			Consumos não-medidos faturados (estimados)	
		Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não-faturados (usos próprios, caminhão-pipa etc.)	Águas Não Faturadas
			Consumos não-medidos, não-faturados (corpo de bombeiros, favelas não medidas etc.)	
	Perdas de Água	Perdas Aparentes	Consumos não-autorizados (fraudes e falhas de cadastro)	
			Imprecisão dos medidores (macro e micromedicação)	
		Perdas Reais	Vazamentos nas adutoras de água bruta e nas estações de tratamento de água (se aplicável)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro	
			Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição	

Os componentes do balanço hídrico podem ser assim definidos:

- Água que entra no sistema: volume anual de água introduzido na parte do sistema de abastecimento que é objeto do cálculo do balanço hídrico;
- Consumos autorizados: volume anual medido e/ou não medido fornecido a consumidores cadastrados, à própria prestadora de serviços de saneamento (usos administrativos ou operacionais) e a outros que estejam implícita ou

explicitamente autorizados a fazê-lo, para usos domésticos, comerciais ou industriais;

- Perdas de água: volume referente à diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado;
- Consumo autorizado faturado: volume que gera receita potencial para a prestadora de serviços de saneamento, e que correspondente à somatória dos volumes constantes nas contas emitidas aos consumidores. É composto pelos volumes medidos nos hidrômetros e pelos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados;
- Consumo autorizado não faturado: volume que não gera receita para a prestadora de serviços de saneamento, oriundo de usos legítimos da água no sistema de distribuição. É composto de volumes medidos (como uso administrativo da própria prestadora) e volumes não medidos, a estimar, tais como a água utilizada no combate a incêndios, lavagem de ruas, favelas, e a água empregada em algumas atividades operacionais da prestadora de serviços de saneamento (lavagem de redes e de reservatórios, por exemplo).
- Perdas aparentes: correspondem aos volumes consumidos, porém não contabilizados, associados a erros de medição, fraudes e falhas no cadastro comercial da prestadora de serviços de saneamento;
- Perdas reais: correspondem aos volumes que escoam através de vazamentos nas tubulações ou reservatórios e extravasamentos nos reservatórios;
- Águas faturadas: representam a parcela de água comercializada, traduzida no faturamento, do fornecimento de água ao consumidor;
- Águas não faturadas: representam a diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado. Esses volumes incorporam as perdas reais e aparentes, bem como o consumo autorizado não faturado.

Atualmente, o balanço hídrico é a forma mais simples e fácil de fazer a auditoria das águas, sendo utilizado no mundo todo. Hoje, existem vários *softwares* e planilhas no mercado que auxiliam no seu cálculo. A comparação entre os resultados de alguns desses *softwares* será apresentada neste trabalho.

As vantagens do balanço hídrico são:

- Facilidade de utilização;
- Aplicação em sistemas de tamanhos variados ou partes do sistema;
- Disponibilidade dos dados da macromedição e micromedição nas prestadoras de serviços de saneamento;
- Custo reduzido.

As desvantagens são:

- Forte dependência das hipóteses adotadas na estimativa da perda aparente;
- Baixa precisão nos resultados, devido às hipóteses e estimativas adotadas.

3.5.1.1 Softwares Disponíveis

Atualmente existe uma série de *softwares* disponíveis no mercado para o cálculo do Balanço Hídrico e Indicadores de Performance, seguindo o padrão da IWA. A maioria foi desenvolvida por membros da Força Tarefa de Perdas de Água, e estão disponíveis para *download* gratuitamente na internet, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Alguns softwares gratuitos para cálculo do balanço hídrico e indicadores de performance da IWA. Fonte: adaptado de FANTOZZI (2007).

Software grátis	Informações complementares	Disponibilidade	e-mail ou página da Internet
AquaLite	Aguardando conclusão	Internacional	RonnieM@wrp.co.za
Benchleak	Disponível	África do Sul	
CheckCalcs	Aloca os valores de IIE para as faixas do sistema do Banco Mundial, e identifica ações prioritárias. Também identifica as possibilidades e benefícios do gerenciamento de pressão	Europa	www.studiomarcofantozzi.it
		Oriente	mfarley@alvescot.demon.co.uk
		Austrália e Nova Zelândia	sammiep@widebaywater.com.au
		Canadá e Estados Unidos	veritec@sympatico.ca
		Todos os outros países	www.leakssuite.com
Leakage CheckUp	Software não pode ser baixado, cálculos realizados na própria página da internet	Europa	www.waterportal.com
WaterAudit	Versões no sistema métrico e americano, customizadas para a terminologia americana	América do Norte	www.awwa.org/WaterWiser/ waterloss/Docs/ WaterAuditSoftware.cfm
W-B Easy Calc	Aloca os valores de IIE para as faixas do sistema do Banco Mundial	Internacional	www.liemberger.cc

Para o desenvolvimento do primeiro passo de um diagnóstico das perdas, que é o cálculo do balanço hídrico, não é necessário adquirir ou desenvolver nenhuma ferramenta específica, apenas dispor dos dados necessários e saber interpretar os resultados.

Para o desenvolvimento da metodologia de diagnóstico proposto nesta dissertação, foi utilizado o *software* desenvolvido pelo Banco Mundial *W-B Easy Calc (v1.17)*, que está disponível para utilização em 10 línguas, incluindo português, cuja versão a autora desta dissertação ajudou a traduzir. Entretanto, pode ser utilizado qualquer outro *software* citado na Tabela 6.

Cabe informar que, além destes *softwares* gratuitos, existem outros *softwares* pagos, que podem ser inclusive customizados para uma determinada prestadora de serviço de saneamento, como por exemplo, o *software Fastcalc*, que é utilizado pela Sabesp, e por prestadoras em outros países como Itália, Austrália e Nova Zelândia.

3.5.2 AVALIAÇÃO DA VAZÃO MÍNIMA NOTURNA

O método *bottom-up* consiste em avaliar as perdas “de baixo para cima”, por meio de pesquisas, testes e inspeções em campo de cada componente de perda, real ou aparente, e ainda para cada área específica, compondo, assim, a somatória das parcelas de volumes perdidos até a obtenção do volume total de perdas.

O método *bottom-up* mais utilizado é a avaliação da vazão mínima noturna, que consiste na medição da variação dos consumos no sistema ao longo do dia. Normalmente, o pico de consumo ocorre entre 11 e 14 h, e o mínimo consumo ocorre entre 3 e 4 h da madrugada, cuja vazão correspondente a esse consumo é denominada de vazão mínima noturna. Como a maioria dos consumidores nesse horário está dormindo, e os reservatórios domiciliares estão cheios, uma parcela significativa dessa vazão corresponde às vazões de vazamentos, podendo dessa forma se determinar as perdas reais.

Para que se possa chegar ao valor das perdas reais através da vazão mínima noturna, é necessário o conhecimento dos elementos que compõem essa vazão: consumo noturno residencial, consumo noturno não residencial, consumo noturno excepcional, perdas noturnas após hidrômetro e perdas reais na rede de distribuição de água, representados na Figura 4.

Figura 4 – Componentes da Vazão Mínima Noturna (Adaptado de LAMBERT, 2002).

As perdas até o hidrômetro compreendem todos os tipos de vazamentos existentes no sistema de distribuição (vazamentos visíveis e não visíveis, arrebertados, e vazamentos inerentes).

Os consumos após hidrômetro compreendem o uso noturno: consumo noturno residencial; não residencial (comércios e indústrias); e excepcional (alguma eventualidade após o hidrômetro), e as perdas nas instalações internas dos usuários (vazamentos em tubulações prediais e nas boias das caixas d'água).

Para se chegar à vazão de vazamentos, são realizados ensaios de campo em áreas representativas do sistema, como os distritos pitométricos. Dessa forma, pela avaliação da vazão mínima noturna, as perdas reais são medidas em campo, e pela diferença se chega às perdas aparentes.

Em função da metodologia *bottom-up* ser fundamentada em diagnósticos de campo, pode-se dizer que é um método mais confiável e fornece resultados mais consistentes do que o método *top-down*, porém é muito mais trabalhosa e requer mais recursos.

As vantagens da avaliação da vazão mínima noturna são:

- Maior confiabilidade;

- Maior representatividade das perdas reais, retratando a realidade física e operacional da área;
- Proporciona conhecimento das condições operacionais da área.

As desvantagens são:

- O ensaio é feito em áreas pequenas, cuja extrapolação pode induzir a erros;
- Envolve custos com equipes e equipamentos para a realização do ensaio.

3.5.3 MÉTODO BABE

Em 1994 foi publicado o conceito *Burst and Background Estimates* (BABE), literalmente “Estimativas de vazamentos inerentes e arreventados”, admitindo que o volume anual de perdas reais consista em vários eventos de vazamentos, onde cada volume individual de perda é influenciado pela vazão e duração do vazamento antes que ele seja reparado (LAMBERT, 1994).

A análise de componentes das perdas reais desta forma quebra os vazamentos em três categorias:

- Vazamentos inerentes (não detectáveis): vazão baixa, mas fluxo contínuo;
- Vazamentos não visíveis: vazão moderada, cujo tempo de reparo depende da política de controle ativo de vazamentos;
- Vazamentos visíveis: altas vazões, mas duração relativamente curta.

Para se calcular o volume perdido através de cada tipo de vazamento é necessário conhecer alguns parâmetros do sistema que se está analisando, tais como: histórico de vazamentos visíveis e vazamentos não visíveis, tempo de duração dos vazamentos, condições da infraestrutura e pressão média.

Segundo Tardelli Filho (2004), por exigir uma quantidade muito grande de dados, hipóteses e estimativas, o método BABE só deve ser aplicado em áreas relativamente pequenas e representativas do setor de abastecimento.

Porém, o método BABE é um suplemento muito importante ao método *Top-down*, por fornecer uma estimativa do volume de perdas reais em diferentes elementos da infraestrutura de distribuição. Além disso, o método *Top-down* e o método BABE

podem ser considerados como análises de “desktop”, isto é, metodologias teóricas, enquanto o método *Botton-up* utiliza dados de testes em campo para determinar as perdas (THORNTON *et al*, 2008).

Observa-se, portanto que, nenhum método é perfeito e completo, sendo recomendável, na medida do possível, a aplicação dos três métodos descritos para calibrar as variáveis e hipóteses assumidas, de forma a buscar resultados mais precisos e confiáveis.

3.5.4 ENSAIOS DE CAMPO PARA AVALIAÇÃO DAS PERDAS

3.5.4.1 Pressão

A pressão exerce forte influência na frequência de vazamentos, bem como na vazão perdida através desses, sendo um dos primeiros parâmetros a serem medidos.

A simples aplicação das equações da hidráulica leva a imaginar que a vazão dos vazamentos na rede de distribuição de água se comporta de acordo com a relação quadrática da pressão. Porém, isso é verdade apenas nos casos de orifícios que não variam de tamanho com a alteração da pressão (seção constante), como é o caso, por exemplo, de um furo de corrosão em uma tubulação de ferro fundido. O modelo FAVAD - *Fixed and Variable Area Discharge* , desenvolvido em 1994 no Reino Unido por John May, apresentou um equacionamento para as várias situações encontradas nas redes de distribuição (TARDELLI FILHO, 2004).

Especialmente os ramais, e algumas redes de materiais plásticos, polietileno e PVC, cujos orifícios, rachaduras ou trincas variam sua abertura em função da carga piezométrica reinante. Assim, quanto maior a pressão, maior a área do furo, e mais significativa é a vazão perdida no vazamento.

Desta forma, a vazão dos vazamentos se comporta de acordo com a relação exponencial de pressão, conforme apresentado na equação 7 (LAMBERT, 2002):

$$Q_1 / Q_0 = (P_1 / P_0)^{N_1} \quad (7)$$

Onde: Q_1 = vazão do vazamento à pressão P_1

Q_0 = vazão do vazamento à pressão P_0

P_1, P_0 = pressão

N_1 = coeficiente exponencial da relação vazão/pressão

O expoente N_1 pode variar entre 0,5 e 2,5 dependendo do material da tubulação. Ensaio realizados em diversos países comprovaram os seguintes valores para N_1 (TARDELLI FILHO, 2004):

- Para tubos metálicos: $N_1 = 0,5$
- Para tubos plásticos: $1,5 < N_1 < 2,5$
- Para vazamentos inerentes: $N_1 \cong 1,5$

A pressão utilizada na equação (7) é a pressão medida no ponto específico da área analisada que caracteriza a pressão média da área, denominado como Ponto de Pressão Média do Setor (PPMS). O PPMS é o ponto que representa a pressão média do setor.

O PPMS é obtido calculando-se a média ponderada das cotas altimétricas onde se localizam as ligações de água, redes, registros ou hidrantes. Podem-se usar modelos de análise hidráulica de rede ou plantas da rede de distribuição e curvas de nível. Após o cálculo da cota média, seleciona-se uma ligação, hidrante ou outro ponto de medição no meio do setor, situado nessa cota para se medir a pressão.

As medições de pressão podem ser feitas, instalando-se *data loggers* de pressão no PPMS determinado. Recomenda-se um período mínimo de 7 dias para a medição de pressão, com o intervalo mínimo possível que o equipamento permitir, por exemplo 1 segundo. Caso isto não seja possível, recomenda-se o intervalo máximo de 15 minutos. Isto se faz necessário para verificar se há variações abruptas de pressão no sistema, que podem ser muito mais prejudiciais do que pressões elevadas contínuas.

3.5.4.2 Coeficiente exponencial N1

O N1 é o coeficiente exponencial da equação 7, que relaciona a vazão dos vazamentos com a pressão, e que depende do tipo de material dos tubos.

O ensaio de campo para determinação do valor de N1 para cada setor ou subsetor de abastecimento geralmente é realizado à noite, podendo também ser realizado durante o dia. O ensaio consiste, basicamente, nas medições de vazão e de pressão no ponto de entrada e no ponto de pressão média da área selecionada.

A área selecionada deve ser abastecida por um único ponto de entrada. Deve-se então reduzir gradualmente a pressão no ponto de entrada da área, medindo-se a vazão e a pressão no PPMS. Sugere-se reduzir a pressão em pelo menos três níveis (P_0 , P_1 e P_2). O teste deve ser realizado excluindo-se o consumo noturno da área, por meio de leitura dos hidrômetros para contabilização dos consumos ou pelo fechamento dos ramais prediais, evitando-se assim o consumo durante o período do teste. Após a obtenção da vazão dos vazamentos Q_0 , Q_1 e Q_2 correspondentes às pressões medidas no PPMS, P_0 , P_1 e P_2 , o N1 pode ser calculado pela equação (8):

$$N1 = \ln (Q_1 / Q_0) / \ln (P_1 / P_0) = \ln (Q_2 / Q_0) / \ln (P_2 / P_0) \quad (8)$$

Onde: Q_0 , Q_1 , Q_2 = vazão do vazamento às pressões P_0 , P_1 , P_2 respectivamente

N1 = coeficiente exponencial da relação vazão/pressão

Segundo Tardelli Filho (2004), para um sistema onde há redes de diferentes materiais, ensaios de campo realizados mostram que os valores do expoente N1 estão próximos de 1,15. Na prática e na impossibilidade de realizar o teste, pode-se adotar $N1 = 1,0$ para os cálculos.

3.5.4.3 Fator Noite/Dia

Como a vazão dos vazamentos é bastante influenciada pela pressão, o valor observado na hora do consumo mínimo noturno é a vazão máxima diária dos vazamentos que, se simplesmente multiplicada por 24 h, estaria supervalorizando os volumes diários perdidos (TARDELLI FILHO, 2004).

Para solucionar esse problema, utiliza-se o Fator Noite/Dia (FND), que é um número, dado em horas por dia, que multiplicado pela vazão dos vazamentos (extraída da vazão mínima noturna) resulta no volume médio diário dos vazamentos, ou seja, nas perdas reais médias do ensaio. O FND é determinado através de medições de pressão no PPMS, utilizando-se posteriormente a relação entre pressão e vazão de vazamentos descrita na equação 7.

O valor de FND em geral é menor que 24 h/dia em setores com abastecimento por gravidade partindo de reservatórios de distribuição sem nenhuma interferência operacional; e maior que 24 h/dia em setores onde exista o gerenciamento de pressão, através de bombeamento ou válvulas redutoras de pressão. Nesses casos, as pressões máximas podem ocorrer em períodos diferentes das 3 às 4h.

3.5.4.4 Fator de Condição da Infraestrutura

Em qualquer setor, o Fator de Condição da Infraestrutura (FCI) é a relação entre “menor volume possível” de vazamentos inerentes e o volume de vazamentos inerentes inevitáveis segundo a IWA, que é calculado pela equação 5. Para o cálculo do FCI é utilizada a equação 9:

$$\text{FCI} = \text{Vazamentos inerentes} / \text{Vazamentos inerentes inevitáveis IWA} \quad (9)$$

Em termos de resultados, o FCI, assim como o IIE, é um número adimensional, e quanto mais distante do valor unitário, pior é a condição da infraestrutura daquela rede.

Os valores de FCI devem ser calculados em pequenos setores de 200 a 1.000 ligações (TARDELLI FILHO, 2004), analisando-se a menor vazão noturna possível, após pesquisas intensas para detecção de vazamentos, e reparo dos vazamentos encontrados. Deve-se também, eliminar eventuais fraudes e ligações clandestinas antes da realização do teste, através de caça-fraudes. Desta forma, os vazamentos que restaram na área são efetivamente os vazamentos inerentes.

O teste pode ser realizado à noite ou durante o dia, com o fechamento temporário dos registros dos cavaletes dos hidrômetros e lacração dos mesmos, antecedido por um trabalho sistematizado de comunicação e ciência à população quanto à importância e aos procedimentos do teste.

Na impossibilidade de fechamento de algum cavalete, a alternativa viável é efetuar a leitura desses hidrômetros antes e após a realização do teste, obtendo, assim, o volume que deve ser deduzido da vazão total medida.

Segundo Carvalho *et al* (2009), para a realização do teste de FCI, sugere-se definir uma área que seja representativa do setor de abastecimento e que possa ser monitorada a vazão. Esta área deve ser confinada, com a garantia de que a contribuição seja apenas pelo ponto onde a vazão será controlada. Deve-se realizar o fechamento desse setor, de tal maneira que de houver necessidade de fechar registros de rede, estes não proporcionem nenhuma passagem. Deve-se também evitar áreas onde haja estabelecimentos cujas ligações não possam ser fechadas, como hospitais, escolas, etc. Caso haja esse tipo de consumidor, este deverá ter seu consumo monitorado através de equipamentos apropriados.

Como a vazão dos vazamentos inerentes é relativamente pequena, sugere-se também instalar um medidor com capacidade de registrar pequenos volumes dentro de uma mínima faixa de erro. Esse medidor também deverá permitir a instalação de registrador de dados (*datalogger*) para monitorar a vazão.

Em MELATO *et al* (2009) são apresentados resultados de testes de FCI realizados em algumas áreas da cidade de São Paulo (Tabela 7). Observa-se com esses resultados, que há áreas com condições de infraestrutura de cerca de até 15 vezes

pior que a situação ideal, e outras em situação melhor. Observa-se também, que em uma das áreas o valor de FCI baixou de 9,76 para 2,97 depois da troca preventiva de ramais, melhorando consideravelmente sua condição de infraestrutura.

Tabela 7 – Resultados dos testes de FCI (MELATO; CARVALHO; THORNTON, 2009).

Área	Q mín noturna (m3/h)		FCI	
	antes das trocas	depois das trocas	antes das trocas	depois das trocas
Maria Figueiredo	2,52		14,93	
Pirassununga	2,80		8,39	
Antonio Coutinho	5,12		7,40	
Maria Jose	1,25		7,20	
Teodoro Beaurepaire	5,45		2,65	
Paula Loebestein	2,00	0,54	9,76	2,97
Jardim São Pedro	0,72		4,58	

O valor do FCI serve portanto como um bom indicador da condição da infraestrutura das redes e ramais de uma determinada área.

3.6 ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS

A estratégia para redução das perdas envolve uma série de fatores. Primeiramente é necessário fazer um diagnóstico prévio respondendo as seguintes perguntas (FARLEY; TROW, 2003):

- Quanto é perdido?
- Onde é perdido?
- Por que ocorrem as perdas?
- Como manter?

A estratégia do gerenciamento de perdas proposta por Farley e Trow (2003) é dividida em cinco etapas:

- Preparação: refere-se ao planejamento do plano, incluindo o diagnóstico dos níveis atuais de perdas e o entendimento das causas e efeitos das perdas;
- Definição de metas: consiste na determinação do nível econômico de perdas, e na definição de metas de curto e longo termo para redução de perdas, considerando o plano de investimentos da empresa;
- Implantação das ações: execução das intervenções de combate às perdas;
- Gerenciamento: etapa de gerenciamento das ações implantadas e das ações em andamento;
- Monitoramento: etapa de manutenção e controle para que os níveis de perdas não aumentem.

Na Tabela 8 são apresentadas as tarefas e ferramentas para o desenvolvimento desta estratégia proposta por Farley e Trow (2003).

Tabela 8 - Tarefas e ferramentas para desenvolvimento da estratégia (FARLEY; TROW, 2003).

Questões / Solução	Tarefa
1. Quanto é perdido? - Componentes do uso da água	Balanço de Águas - aperfeiçoar a estimativa e as técnicas de medição - implementar uma política de calibração de medidores - realizar ensaios de medição - identificar melhorias nos procedimentos de armazenamento de dados
2. Onde é perdido? - Quantificação das perdas reais e aparentes	Auditoria de Água - pesquisa de vazamentos - inspeção dos sistemas operacional e comercial - monitoramento do sistema
3. Por que ocorrem as perdas? - Auditoria do sistema	Revisão das Práticas de Abastecimento - investigar: razões históricas, maus hábitos operacionais, qualidade dos serviços, qualidade dos materiais, influências locais e políticas, e fatores culturais, sociais e financeiros.
4. Como melhorar a performance? - Melhorar a rede - Projetar planos de ação	Desenvolvimento da Estratégia - atualização do histórico de dados - implantação da setorização - monitoramento de vazamentos - controle de pressão - pesquisa e reparo de vazamentos - substituição e reabilitação de tubulações - projeção de planos de ação de curto, médio e longo prazo
5. Como manter? - Garantir a sustentabilidade com estruturas organizacional e pessoal apropriadas	Treinamento, Operação e Manutenção - aumento da motivação - transferência de tecnologia - introdução do “ <i>best practice</i> ” - envolvimento da comunidade - conservação da água - plano de monitoramento e recomendações - introdução de procedimentos de operação e manutenção

Outro aspecto importante na definição da estratégia é o nível de controle em que se dará a gestão das perdas. A unidade de controle mínima recomendável é o setor de abastecimento, podendo esse controle ser subdividido em zonas de pressão. Porém,

recentemente tem-se observado que quanto menor a área, melhor o diagnóstico e o controle, sendo recomendado o controle pelos District Metered Areas (DMA), que são na verdade os chamados Distritos Pitométricos (MORRISON, 2007).

Deve ser prevista também uma estratégia de comunicação, treinamento e envolvimento de todas as partes, pois estes aspectos também são fundamentais para garantir o sucesso do programa de redução de perdas, o que será descrito a seguir.

3.6.1 GESTÃO E ENVOLVIMENTO

Tão importante quanto executar as ações, é a gestão do controle de perdas, através do acompanhamento das ações, coleta de informações e dados, como quantitativo previsto e executado, indicadores, custos, ganhos, recuperações, entre outros.

Para que a gestão seja eficaz é recomendável a aplicação de métodos de melhoria contínua da qualidade, como o *Plan – Do – Check - Action* (PDCA). Além disso, a abordagem geral deve ser integrada, isto é, todas as áreas dentro da prestadora de serviços de saneamento devem priorizar as perdas, desde a etapa de projeto, instalação, até a operação e manutenção.

De um modo geral, um programa de redução de perdas deve ter a seguinte estrutura:

- Diagnóstico por setor de abastecimento;
- Avaliação da disponibilidade de recursos;
- Análise econômica;
- Definição das ações requeridas;
- Definição de metas compatíveis com os recursos disponíveis;
- Indicadores de controle;
- Planos de ação;
- Estruturação e priorização;
- Acompanhamento das ações e avaliação dos resultados;
- Envolvimento de todos.

Segundo Tardelli Filho (2004), o sucesso de um Programa de Controle e Redução de Perdas está diretamente vinculado ao conhecimento e participação de todos os agentes responsáveis, em quaisquer níveis hierárquicos na companhia de saneamento.

Como a questão de perdas é bastante complexa, envolvendo todos os setores das prestadoras de serviços de saneamento, tais como operação, comercial, manutenção, projetos, financeiro, entre outras, o envolvimento e comprometimento de todas essas áreas passa a ser fundamental para o sucesso de um programa de redução de perdas. É necessário o envolvimento e comprometimento desde a alta administração até o empregado da ponta, que será o responsável pela execução das ações, entendendo o quê está sendo feito e o porquê. Cabe ressaltar também que, este envolvimento também deve ser passado e cobrado no caso de terceirização dos serviços.

Como uma forma de envolver essas pessoas e garantir o seu comprometimento, foi implantado na unidade central da Sabesp, a partir de 2005, o chamado “Arrastão”, processo no qual são aplicadas as boas práticas de operação preconizadas pela IWA, onde são desencadeadas simultaneamente todas as ações possíveis de redução de perdas reais e aparentes, nos setores de abastecimento mais críticos, isto é, com os maiores indicadores de perdas, e principalmente com a participação de todas as unidades envolvidas. (MELATO, 2007b).

O “Arrastão” consiste em selecionar inicialmente um setor de abastecimento com índice de perdas elevado, e tentar reduzir ao máximo as perdas desse setor. Foi dado o nome de “Arrastão”, para se associar à ideia de sair “varrendo” todo o setor rapidamente, e eliminar todas as perdas possíveis de água.

O acompanhamento do desenvolvimento das ações e seus resultados são realizados através de reuniões periódicas com todos os envolvidos, inclusive com os gerentes das áreas e a presença do superintendente da Unidade de Negócio. Participam do processo: as áreas de controle de perdas, engenharia de operação, cadastro, manutenção, adução, comercial, participação comunitária, financeiro, e inclusive a comunicação, divulgando os resultados através dos meios de “comunicação interna” existentes (jornal eletrônico, mural, intranet, etc.).

3.7 AÇÕES PARA REDUÇÃO DE PERDAS REAIS

Os quatro principais componentes de um programa efetivo de controle e redução de perdas reais são representados através da Figura 5, onde o quadro interno representa as Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI), o quadro intermediário representa o nível econômico de perdas reais e o quadro externo representa o nível atual de perdas, que é o volume potencialmente recuperável com estas ações de redução de perdas reais.

Figura 5 – Componentes do controle e redução de perdas reais. Fonte: Adaptado de THORNTON (2002).

As setas direcionadas para cada uma das faces do quadro maior representam as ações básicas e fundamentais para o controle e a redução das perdas reais. Mas, deve-se ressaltar que, para se obter uma redução efetiva, as ações devem ser desencadeadas simultaneamente, “comprimindo” esse quadro maior (nível atual de

perdas reais), até o quadro intermediário (nível econômico de perdas reais). Caso uma dessas ações não seja desencadeada, se reduzirá apenas uma parte do potencial de perdas, e não se conseguirá atingir o nível econômico.

Outro aspecto que pode ser observado através da Figura 5, é que uma ação se contrapõe à outra axialmente. Desta forma, analisando-se primeiramente o eixo horizontal, o controle ativo de vazamentos, para ser eficaz na redução das perdas reais, precisa estar associado à agilidade e qualidade dos reparos desses vazamentos localizados. Da mesma forma, no eixo vertical, um controle de pressão eficaz necessita de um gerenciamento da infraestrutura adequado.

Além disso, o quadro externo representa o nível atual de perdas, que é o volume potencialmente recuperável com estas ações de redução de perdas reais. O quadro intermediário representa o nível econômico de perdas reais, o qual seria possível de ser atingido, se fossem investidos os recursos necessários para igualar o retorno financeiro esperado pelo custo do volume de água perdido recuperado. Finalmente, o quadro interno representa as perdas reais anuais inevitáveis (PRAI), que são o nível mínimo de perdas, tecnicamente possível de ser atingido, se não houvesse limitações de recursos financeiros para se investir no controle de perdas, mesmo sendo inviável economicamente o atingimento desse nível.

Deve-se ressaltar, porém que, tanto para as perdas reais, quanto para as perdas aparentes, o nível econômico de perdas ainda não foi determinado, sendo apenas teórico. Seu cálculo ainda é um desafio para os estudiosos da área.

As ações básicas para a redução de perdas reais serão detalhadas sucintamente a seguir.

3.7.1 CONTROLE DE PRESSÃO

O controle de pressão visa adequar as pressões em valores compatíveis com uma boa operação do sistema de distribuição, minimizando as altas pressões e variações bruscas, sem deixar de garantir as pressões mínimas de atendimento aos consumidores. Estes objetivos devem ser pensados desde a etapa de projeto

específico, através de uma setorização adequada dos sistemas de distribuição, buscando um adequado equilíbrio piezométrico entre as zonas de pressão, atendendo às exigências das normas quanto à mínima e máxima pressão (10 e 50 mca, respectivamente). O controle das variações de pressão também é muito importante em situações de variações bruscas, pois isto muitas vezes, pode ser mais prejudicial do que uma pressão elevada, porém constante (THORNTON *et al*, 2008). Cabe ressaltar que, o controle de pressão é a única ação representada por uma seta de duplo sentido, pois o controle pode se dar tanto diminuindo como aumentando a pressão. As soluções mais utilizadas são a implantação de válvulas redutoras de pressão (VRP), que diminuem a pressão nas redes de distribuição, e a correta instalação de Boosters, que permitem elevar as pressões nos pontos mais altos, sem elevá-la por uma grande extensão da rede de distribuição.

3.7.2 CONTROLE ATIVO DE VAZAMENTOS

O controle ativo de vazamentos consiste em detectar o vazamento antes de aflorar, sendo que a metodologia mais aplicada é a pesquisa acústica de vazamentos não visíveis. Essa ação reduz o tempo do vazamento e o volume perdido através deste.

O controle ativo pode ser feito através de campanhas periódicas de pesquisa de vazamentos não visíveis, sendo que sua eficiência vai depender da frequência dessas pesquisas. Outra forma de controle ativo é o monitoramento da vazão mínima noturna. Quando esta vazão aumenta é um indício de surgimento de vazamento, podendo assim ser disparada uma pesquisa de vazamento nesta área.

3.7.3 AGILIDADE E QUALIDADE DOS REPAROS

Não basta apenas detectar o vazamento para reduzir as perdas reais. A efetiva redução somente se dará quando esse for reparado, e de forma adequada para evitar a reincidência e retrabalho. Portanto, o conhecimento do tempo desde a existência de um vazamento, o tempo decorrido para sua efetiva localização e até seu estancamento é um ponto chave para o gerenciamento das perdas reais.

3.7.4 GERENCIAMENTO DA INFRAESTRUTURA

O gerenciamento de infraestrutura está diretamente ligado ao conhecimento das condições dos sistemas de redes de distribuição: idade, materiais, manutenções preditivas (através de ensaios e monitoramento) e preventivas (em intervalos pré-determinados), instalação e manutenção de equipamentos de controle, procedimentos de trabalho, treinamento etc. A posse e o gerenciamento destas informações permitem direcionar os recursos disponíveis para as áreas onde efetivamente seja necessário, otimizando os resultados.

Considera-se como vida útil das redes de distribuição o período de 50 anos (TARDELLI FILHO, 2004). Para os ramais, é adotado um tempo de vida útil bem menor já que eles estão sujeitos a mais fatores agressivos que as tubulações. A manutenção e reabilitação da infraestrutura se fazem por meio de três ações preventivas básicas: troca de rede, reabilitação de rede e troca de ramais.

Uma síntese das ações para redução de perdas reais é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Síntese das ações de perdas reais segundo o tipo de vazamento. Fonte: Adaptado de TARDELLI FILHO (2004).

Através da Figura 6, observa-se que as ações mais importantes e efetivas são o controle de pressão e a qualidade dos materiais e da execução da obra, pois são as ações que reduzem os três tipos de vazamentos.

3.8 AÇÕES PARA REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES

Da mesma forma que o controle das perdas reais, as perdas aparentes também dispõem de um diagrama similar, composto de quatro ações básicas, conforme Figura 7.

Figura 7 - Componentes do Controle e Redução de Perdas Aparentes. Fonte: Adaptado de TARDELLI FILHO (2004).

Cabe ressaltar que, a redução das perdas aparentes tem um impacto financeiro considerável, pois aumenta o volume micromedido, aumentando consequentemente o faturamento da empresa. Além disso, nas áreas cobertas com redes de esgoto, aumenta mais ainda o faturamento, pois se aumenta também o volume de esgoto coletado cobrado pela prestadora. No caso da RMSP, onde o valor cobrado do esgoto é 100% do valor cobrado de água, este aumento é o dobro.

Também, da mesma forma que nas perdas reais, o quadro central (Figura 7) representa as perdas aparentes anuais inevitáveis (PAAI), o quadro intermediário representa o nível econômico de perdas aparentes e o quadro externo representa o nível atual de perdas, que é o volume potencialmente recuperável com estas ações de redução de perdas aparentes, as quais serão detalhadas sucintamente a seguir.

3.8.1 REDUÇÃO DA IMPRECISÃO DOS MEDIDORES

A redução de erros de medidores envolve tanto ações para melhoria da macromedição, como a micromedição. Tem como ações principais: a especificação e o dimensionamento adequado dos macromedidores, calibração periódica dos mesmos, bem como a especificação e o dimensionamento adequado dos hidrômetros dos consumidores, bem como sua leitura correta, troca corretiva (quando necessária) e a troca preventiva ao longo do tempo.

3.8.2 QUALIFICAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA

A qualificação da mão-de-obra envolve a seleção e o treinamento especializado dos profissionais que fazem a leitura dos hidrômetros, a gestão comercial, e a instalação, calibração e manutenção dos medidores, de forma a reduzir erros e melhorar a percepção de quaisquer problemas nas ligações e na contabilização dos consumos.

3.8.3 COMBATE ÀS FRAUDES E LIGAÇÕES CLANDESTINAS

A redução de fraudes envolve inspeções nas ligações suspeitas, e medidas de coibição dessa prática, já que uma vez que se demonstrar fragilidade nesta ação, o número de fraudadores tende a aumentar. O levantamento de uma possível fraude ocorre normalmente através de denúncias da população, indícios levantados pelos leituristas dos hidrômetros, e análise do histórico de consumo das ligações.

Uma vez levantada a suspeita, deve-se ir a campo para confirmar a fraude, atuar o cliente e regularizar a ligação. Cabe ressaltar que, a fraude ocorre tanto no rol de ligações ativas como inativas.

Nesta questão de redução de fraudes, também deve ser dada atenção às ligações clandestinas em favelas e áreas invadidas. Hoje na maioria das regiões metropolitanas, este problema é bastante comum, e de difícil solução a curto prazo, pois muitas vezes tais comunidades se encontram em áreas de proteção ambiental ou há pendências quanto à posse do terreno. Trata-se de um problema social, e se a prestadora regularizar tais ligações pode ser acusada de favorecer a invasão.

3.8.4 MELHORIAS NO SISTEMA COMERCIAL

Compreende o aperfeiçoamento contínuo do sistema de gestão comercial, principalmente no que se refere ao cadastramento das ligações e à apuração dos consumos dos clientes. A gestão comercial de uma prestadora de serviços de saneamento compreende todo o aparato de processos, sistemas informatizados e recursos humanos que permite a contabilização dos consumos de água tratada e seu faturamento.

Para a redução de perda aparente, deve ser dada atenção na agilidade do cadastramento de novas ligações no sistema comercial, e nas atividades para se encontrar as falhas de cadastro comercial. A atualização do cadastro comercial possui também um fator, sem impacto na perda aparente, porém economicamente válido, que é a atualização do tipo de ocupação do imóvel (residencial, comercial, público ou industrial), pois isto reflete na política tarifária. Descobrir uma ligação não cadastrada e incorporá-la no sistema comercial faz com que se ganhe no faturamento e no volume medido que não era computado.

Uma síntese das ações para controle e redução de perdas aparentes é apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Síntese das ações para o controle e redução de perdas aparentes. Fonte: Adaptado de TARDELLI FILHO (2004).

3.9 EXPERIÊNCIAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Neste item serão discutidas as ações para a redução das perdas reais e aparentes, apresentando alguns ganhos obtidos e formas de implementá-las, através de algumas experiências na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Para isto, serão apresentadas ações já desenvolvidas na Sabesp, buscando apresentar os principais ganhos de cada ação, tanto para redução de perdas reais como perdas aparentes.

3.9.1 AÇÕES PARA REDUÇÃO DAS PERDAS REAIS

Conforme já apresentado anteriormente na Figura 6, o direcionamento das ações para redução de perdas reais ocorre em função do tipo de vazamento. De maneira geral, essas ações reduzem o volume perdido de água, reduzem o custo de manutenção com reparos de vazamentos e também reduzem o consumo de energia elétrica.

O controle de pressão é a principal atividade para redução de perdas reais, visto que impacta em todos os componentes, sejam vazamentos visíveis, não visíveis ou inerentes.

A troca de ramais também é uma atividade que impacta em todos os componentes. Entretanto, por ser mais onerosa, com custos elevados envolvidos, acaba sendo utilizada prioritariamente em sistemas com alto índice de vazamentos inerentes.

A pesquisa de vazamentos deve ser priorizada em sistemas com alto índice de vazamentos não visíveis.

Já para a redução do volume de perdas com vazamentos visíveis, um tempo de resposta para as atividades de reparo em torno de 24 horas é considerado bastante eficiente. Para esta componente, a redução de volumes só será obtida com a redução do tempo de conhecimento do vazamento, que pode ser obtida com a

implantação de setores menores e com monitoramento das vazões mínimas noturnas.

A seguir são apresentadas sucintamente algumas considerações sobre as principais ações para redução de perdas reais.

3.9.1.1 Implantação de Válvulas Redutoras de Pressão

Após o projeto e a implantação de uma setorização adequada, se ainda houver pontos de alta pressão no setor de abastecimento, pode-se instalar uma VRP (Figura 9) nestes pontos, que é a forma mais comum de controle de pressão utilizada atualmente, sendo a válvula tipo diafragma a mais utilizada. Este tipo de válvula cria uma restrição que provoca a perda de carga entre a entrada e a saída da válvula, onde o nível de perda de carga depende da vazão e da posição do diafragma. Portanto, é um dispositivo mecânico utilizado como acessório em pontos específicos da rede de distribuição de água, para proporcionar uma pressão reduzida a jusante, evitando pressões elevadas em determinados trechos da rede.

Figura 9 – Instalação de uma Válvula Redutora de Pressão. Fonte: Sabesp.

A VRP pode ser classificada quanto ao tipo de controle de saída:

- Saída fixa: limita a pressão de jusante em um valor pré-estabelecido de acordo com os parâmetros de regulação fixados pelo circuito de pilotagem;
- Controle por tempo: opera com pressão de saída variável modulada pelo tempo, onde as pressões de entrada são reduzidas em períodos específicos num ciclo de 24 horas;
- Controle pela vazão: a pressão de saída varia em função da demanda da área.

A Sabesp começou o Programa de Implantação de Válvulas Redutoras de Pressão em 1997, e em 2008 possuía 989 VRPs instaladas. Na unidade central existiam 204 VRPs instaladas, com uma economia média de 6,15 L/s por VRP instalada, variando de 1,0 a 56,5 L/s, dependendo do tamanho da VRP. A extensão média de cobertura era de 12 Km/VRP, variando de 3 a 50 km de cobertura por VRP.

Cabe ressaltar que, segundo Galvão (2007), a redução de pressão implementada pela instalação de VRPs, não provoca variação significativa no consumo médio das ligações de água. Esse fato se deve, muito provavelmente, às características de abastecimento indireto, generalizado nos consumidores da RMSP, que neutralizariam uma possível redução de consumo, que ocorreria no caso de abastecimento direto, sem caixas d'água.

3.9.1.2 Pesquisa de Vazamentos Não visíveis

A pesquisa de vazamentos não visíveis é uma das principais ações para o controle ativo de vazamentos, que consiste em localizar e reparar o vazamento antes deste aflorar.

Existem vários métodos para detectar o vazamento não visível, porém o mais utilizado e econômico é a pesquisa acústica, que consiste em auscultar o ruído do vazamento, provocado pela passagem da água pressurizada através de um furo, fenda ou defeito na tubulação ou conexão que esteja vazando.

A Sabesp na RMSP segue o Procedimento PR – 051 - Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos Sob Pressão em Tubulações Enterradas (ABENDE, 2003) desde 2000. Neste procedimento é descrita a sequência adequada para a pesquisa e detecção dos vazamentos não visíveis, bem como os equipamentos necessários. Através do PR – 051 também são certificados os profissionais que trabalham nesta área. Cabe ressaltar que a adoção do PR – 051 foi fundamental para aumentar a qualidade e a produtividade dos serviços.

Os principais equipamentos utilizados são: haste de escuta (Figura 10), geofone eletrônico (Figura 11) e correlacionador de ruídos (Figura 12).

Figura 10 - Técnico utilizando a haste de escuta. Fonte: Sabesp.

Figura 11 – Técnico utilizando o geofone eletrônico. Fonte: Sabesp.

Figura 12 – Correlacionador de ruídos. Fonte: Sabesp.

A experiência da Sabesp (MELATO, 2006) também tem mostrado que, para eliminar todos os vazamentos de uma área é necessário pesquisá-la várias vezes, pois numa primeira varredura são detectados os vazamentos de maior ruído, porém de menor porte. Já numa segunda varredura consegue-se detectar os vazamentos maiores, e assim sucessivamente. Desta forma, numa primeira varredura, a probabilidade de achar um vazamento de rede é muito menor do que um vazamento de ramal.

Cabe ressaltar que, entretanto, a pesquisa acústica não detecta vazamentos de pequeno porte, cuja vazão seja menor que 250 L/h, os chamados vazamentos inerentes. Para este tipo de vazamento, é necessário utilizar outras técnicas não acústicas, como radar, injeção de gás traçador e termografia com infravermelho (PILCHER, 2007).

A Sabesp testou a técnica de detecção de vazamentos com injeção de gás (Figura 13), cujos resultados foram satisfatórios, porém a um custo elevado (MELATO, 2008).

Figura 13 – Pesquisa de Vazamentos com gás. Fonte: Sabesp.

3.9.1.3 Reabilitação de Rede

A infraestrutura de qualquer sistema de distribuição de água requer manutenção, melhoria e renovação de suas instalações. Entretanto, o sucesso do gerenciamento da infraestrutura depende da alocação de recursos compatibilizada com a política de substituição e reabilitação de redes, que deve ser direcionada enfocando tanto a melhoria das condições hidráulicas dos tubos, substituindo os trechos com grandes incrustações, que prejudicam o abastecimento tanto por baixa pressão como por água suja, bem como a melhoria das condições estruturais dos tubos e ramais com elevadas incidências de vazamentos.

Entretanto, as substituições de redes e ramais são ações extremamente caras e, em alguns casos, impraticáveis, especialmente em áreas densamente urbanizadas. Assim, em áreas onde a escavação é um problema a ser evitado, novas tecnologias têm sido utilizadas para executar a substituição de rede por métodos não-destrutivos.

Devido a uma infraestrutura bem antiga, com grandes problemas de reclamações de água suja, baixa pressão e altas incidências de vazamento, a Sabesp tem realizado várias ações de reabilitação de redes (Figura 14) e trocas preventivas de ramais de água.

Figura 14 - Comparativo entre um trecho de rede antigo e outro reabilitado. Fonte: Sabesp.

Em 2007, no setor de abastecimento Cambuci, através de um contrato misto de troca para alguns trechos, e limpeza e revestimento para outros, foram substituídos 4.130 metros de rede pelo método não destrutivo *pipebursting*, e depois realizados serviços de limpeza por turbilhonamento da rede, com aplicação de revestimento em resina epóxi em 775 metros de tubulação. Após a conclusão dos serviços, foi possível identificar no local uma redução de 2,16 m³/h na vazão mínima noturna, que representa um ganho de 440 L/h x km de rede reabilitada (ABRANCHES, 2009).

Já para troca preventiva de ramais (50% dos vazamentos na RMSP ocorrem nos ramais), o ganho por ramal trocado (Figura 15 e Figura 16) foi de 13,2 L/h em áreas cobertas por VRP e 29,2 L/h em áreas não cobertas por VRP (MELATO, 2007a).

Figura 15 – Ramal antigo antes da troca. Fonte: Sabesp.

Figura 16 – Ramal trocado. Fonte: Sabesp.

3.9.2 AÇÕES PARA REDUÇÃO DAS PERDAS APARENTES

Conforme já apresentado anteriormente na Figura 8, o direcionamento das ações para redução de perdas aparentes se baseia na macromedição, na gestão comercial e na micromedição. De maneira geral, as ações de redução de perdas aparentes aumentam o volume micromedido, e consequentemente o faturamento da empresa. Em termos de macromedição, sugere-se fazer uma calibração a cada ano (Figura 17). Quanto à troca preventiva de hidrômetros, a Sabesp adota como parâmetro de troca o período de 8 anos para pequena capacidade, e 3 a 5 anos para grande capacidade, dependendo da capacidade do hidrômetro. As últimas trocas realizadas em 2008 tiveram um ganho de 2,9 m³/mês x troca de pequena capacidade (Figura 18), e 6,3 m³/mês x troca de grande capacidade.

Figura 17 - Calibração anual de macromedidor. Fonte: Sabesp.

Figura 18 - Troca preventiva de hidrômetro de pequena capacidade. Fonte: Sabesp.

Com relação às fraudes, em 2008, a recuperação média por fraude foi de 65,6 m³/mês para ligação ativa e 21,7 m³/mês para ligação inativa. Deve-se ressaltar que, estas fraudes ocorreram na maioria das vezes em ligações comerciais, daí o alto valor recuperado. Cabe informar também que a maioria das fraudes é do tipo *by-*

pass (comércio) e travamento com arame (residências), conforme Figura 19 e Figura 20 respectivamente.

Figura 19 - Fraude do tipo *by-pass*. Fonte: Sabesp.

Figura 20 - Fraude do tipo hidrômetro travado com arame. Fonte: Sabesp.

Com relação à questão das ligações clandestinas em áreas invadidas, caso não seja possível regularizar tais ligações, é recomendável pelo menos tentar medir o volume

de água perdido na área. Na unidade central da Sabesp a média encontrada para tais ligações (Figura 21) foi de 15 m³/mês x economia.

Figura 21 - Ligações clandestinas em favela. Fonte: Sabesp.

4 METODOLOGIA

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as etapas da metodologia para o diagnóstico das perdas de água através do balanço hídrico, por ser a metodologia mais barata, fácil e simples de ser utilizada, apesar de estar sujeita a imprecisões.

4.2 DEFINIÇÃO DO SOFTWARE A SER UTILIZADO

Para se iniciar a análise do balanço hídrico, deve-se primeiro definir o *software* a ser utilizado. Conforme citado anteriormente, para isto, pode-se utilizar qualquer *software* citado na Tabela 6, ou adquirir algum *software* comercial ou mesmo desenvolver um aplicativo próprio.

A metodologia proposta aqui foi baseada na utilização do *software* desenvolvido pelo Banco Mundial (*W-B Easy Calc - v1.17*). Ao se iniciar a utilização do *software*, pode-se se optar pela língua desejada, incluindo português. Nesta opção de língua é importante ressaltar que são utilizados os termos preferenciais do Banco Mundial de perdas físicas e perdas comerciais, ao invés da terminologia sugerida pela IWA de perdas reais e perdas aparentes. Entretanto, as fórmulas de cálculo permanecem as mesmas.

4.3 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A metodologia proposta para desenvolvimento do diagnóstico de perdas pode ser aplicada em qualquer área controlada, onde o limite seja bem definido e se disponha

dos dados necessários. Entretanto, quanto menor for a área, mais fácil será o diagnóstico, pois muitas vezes é necessária a realização de ensaios de campo em áreas piloto, e a posterior extrapolação para a área maior. Sugere-se trabalhar no máximo com os limites do setor de abastecimento, podendo-se trabalhar com áreas menores, como os distritos pitométricos.

Na metodologia aqui apresentada, foi adotado o setor de abastecimento como limite, sendo importante também se certificar que o mesmo esteja bem fechado, para se ter confiabilidade nos dados.

4.4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Antes dos dados serem levantados, deve-se definir o período de tempo de registro de uma série histórica, a qual deve ser escolhida de forma que permita uma boa avaliação do sistema. Será utilizado um período de estudo de 12 meses, por ser longo o suficiente para cobrir as sazonalidades e as defasagens das leituras dos hidrômetros dos consumidores. Isto ocorre devido aos ciclos de leituras, pois em muitos casos, as leituras dos consumos de um determinado setor não ocorrem todas no mesmo dia, e também não coincidem com o mês fiscal.

Os dados necessários para análise e utilização do *software* são os seguintes dados básicos de controle do sistema:

- Volume de entrada no sistema: refere-se ao volume disponibilizado (aduzido) para o setor, referente a todas as entradas de água, macromedidas ou estimadas, estimando-se também uma margem de erro em função da incerteza dos macromedidores;
- Consumo faturado: refere-se ao volume autorizado faturado, medido ou não medido (estimado pelos últimos consumos), mais o envio de água (exportação) a outros setores de abastecimento, que corresponde à venda de água por atacado. No caso do volume micromedido, sugere-se, se possível, segmentar por faixas de consumo, de forma a avaliar os valores de submedição em cada uma delas. O volume micromedido faturado, portanto, deve ser preferencialmente separado

pela Capacidade do Hidrômetro (CPH): pequena capacidade, que são os hidrômetros cuja vazão nominal é menor ou igual a $3 \text{ m}^3/\text{h}$, e grande capacidade, que são os hidrômetros cuja vazão nominal é maior que $3 \text{ m}^3/\text{h}$;

- Consumo não faturado: refere-se ao volume autorizado não faturado, medido ou não medido. Neste item, devem ser computados os volumes de usos operacionais (volumes utilizados para a operação do sistema, como lavagem de redes e reservatórios, descargas de rede, caminhões-pipa, combate a incêndios, etc.) e usos sociais (volume “disponibilizado” para favelas e áreas invadidas). É necessário também estimar uma margem de erro para esses volumes;
- Consumo não autorizado: refere-se ao volume de fraudes e ligações clandestinas. Para se obter este volume, é necessário estimar o volume fraudado através de ensaios de campo;
- Erros de medição: referem-se às imprecisões dos medidores (submedição) e erros de manipulação dos dados. Estes valores são obtidos através de ensaios de campo ou estimativas. Também é necessário estimar uma margem de erro para esses valores;
- Dados da rede: extensão da rede; número de ligações de água e comprimento médio do ramal predial do limite da propriedade até o hidrômetro. Cabe ressaltar que, este comprimento no Brasil é nulo, pois os hidrômetros são instalados junto à testada do imóvel. Também é necessário estimar uma margem de erro para todos esses valores;
- Pressão média: por área e pelo número de ligações, obtida através de medições em campo. Para facilitar o cálculo, sugere-se medir a pressão no ponto médio do setor (PPMS) e adotar apenas este valor, estimando-se também sua margem de erro;
- Abastecimento intermitente: informar o número de ligações submetidas a abastecimento intermitente e o tempo de abastecimento. Também é necessário estimar uma margem de erro para esses valores;
- Informação financeira: tarifa média praticada e o custo variável de produção e distribuição (custo marginal da água).

4.4.1 ENSAIOS DE CAMPO

4.4.1.1 Medição de Pressão

Para medir as pressões, é necessário inicialmente calcular os PPMSs dos setores por zona de pressão, manualmente ou utilizando aplicativos próprios. Posteriormente, é necessário instalar os *data loggers* de pressão nos PPMSs calculados, por um período mínimo de 7 dias, com intervalo de 15 minutos, devido a limitações de armazenamento do equipamento.

4.4.1.2 Ensaios para Determinação das Perdas Comerciais (Aparentes)

Alguns ensaios são realizados para subsidiar o cálculo das perdas comerciais (aparentes).

Para a determinação das fraudes, pode-se trabalhar com os dados históricos disponíveis ou realizar estudos de campo. O problema apenas é que, normalmente, as vistorias rotineiras de caça-fraudes são direcionadas, seja por denúncias ou evidências de prováveis fraudes, o que distorce um pouco os dados históricos. Portanto, os estudos de campo são mais recomendáveis.

Para a determinação do índice de fraudes em ligações ativas, sugere-se realizar vistorias em uma determinada amostra do número de ligações totais do setor. A seleção dessas ligações deve ser efetuada através de amostras aleatórias, estratificadas em todas as classes de consumo (residencial, pública, industrial e mista).

Já para ligações inativas, como a quantidade de ligações é bem menor que as ativas, essas muitas vezes são vistoriadas em maior número, podendo inclusive chegar a 100% de vistorias em um ano, não havendo nenhum filtro ou

direcionamento nas vistorias. Sendo assim, sugere-se utilizar o histórico de ligações inativas violadas.

Já para estimar as perdas através de ligações clandestinas em favelas e áreas invadidas, deve-se, na medida do possível, instalar um medidor na entrada dessas áreas, e medir o volume disponibilizado durante certo período de tempo. Caso esse medidor não cubra todas as entradas de água da favela, deve-se contar ou estimar quantas famílias/economias se abastecem desse ponto, e extrapolar para toda a favela. Deve-se ressaltar apenas que, este resultado pode ser influenciado pela disponibilidade de água no local, bem como sua pressão.

No caso dos macromedidores e dos hidrômetros, podem ser feitos ensaios de bancada ou em campo para determinação dos erros de medição e submedição. Segundo Arregui (2006), em países cuja utilização de caixas d'água é comum, o erro de submedição pode chegar perto de 20%. Portanto, caso não seja possível a realização de ensaios, pode-se adotar o valor sugerido por Arregui.

4.5 CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é um método de avaliação das perdas *top-down*, isto é, “de cima para baixo”. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas comerciais (aparentes) e, pela diferença, chega-se às perdas físicas (reais).

Através da elaboração do Balanço Hídrico, é possível desagregar a parcela das perdas do sistema, com avaliação das perdas físicas e comerciais, e seu correto entendimento é uma necessidade para a priorização de atenções e investimentos da prestadora. É o primeiro e fundamental passo na elaboração de um diagnóstico.

Nesta etapa, após o preenchimento dos dados citados anteriormente e a realização dos ensaios de campo, é calculado o Balanço Hídrico, nos moldes da Matriz da IWA apresentada na Tabela 5, e conforme Figura 22, extraída do *software WB – Easy Calc*, a qual apresenta valores nulos devido às planilhas não estarem preenchidas ainda.

o volume anual atual de perdas físicas (AAPF) e o volume mínimo atingível de perdas físicas (MAPF), conforme Figura 23.

Nível de serviço				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Tempo de abastecimento médio [h/dia]	24,0	0%	24,0	24,0
Pressão média [m]	0,0	0%	0,0	0,0
Volume de perdas físicas				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
AAPF - Volume Anual Atual de Perdas Físicas [m3/ano]	0	0%	0	0
MAPF - Volume Mínimo Atingível de Perdas Físicas [m3/ano]	0	0%	0	0

Figura 23 – Indicadores de performance: Nível de serviço e Volume de perdas físicas.

Em seguida, conforme Figura 24, são calculados os indicadores de performance de perdas físicas: IIE, litros por ligação por dia, litros por ligação por dia por metro de pressão (divide-se o indicador em litros por ligação por dia pela pressão média) e m^3/km de rede por hora. Todos esses indicadores são considerados quando o sistema está pressurizado - qsp. Isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento.

Ao lado dos indicadores de perdas físicas, também é feita uma avaliação geral, seguindo os parâmetros do Banco Mundial, indicando o grupo de performance do sistema, tanto para país desenvolvido como em desenvolvimento, conforme apresentado na Tabela 4.

Indicadores de Performance de perdas físicas					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	Pais Desenvolvido	Pais em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	0	0%	0	0	Explicações	Explicações
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	0	0%	0	0		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	0	0%	0	0		
m3/km rede por hora (q.s.p.)	0,00	0%	0,00	0,00		

Figura 24 – Indicadores de performance de perdas físicas.

Na sequência, conforme Figura 25, é calculado o indicador de performance de perdas comerciais, expresso em percentagem do consumo autorizado, e finalmente, são calculados os indicadores de performance financeira: volume de água não faturada expressa em percentagem do volume de entrada no sistema e valor da água não faturada expressa em percentagem do custo operacional anual.

Indicadores de Performance de perdas comerciais				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	0%	0%	0%	0%

Indicadores de Performance financeira				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Volume de água não faturada expressa em % do volume de entrada no sistema	0%	0%	0%	0%
Valor da água não faturada expressa em % do custo operacional anual	0%	0%	0%	0%

Figura 25 – Indicadores de performance financeira e de perdas comerciais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTUDO DE CASO

Na RMSP, a área de atuação da Sabesp para distribuição de água é dividida em 5 Unidades de Negócio: Centro, Norte, Sul, Leste e Oeste. Foram escolhidos para este trabalho 3 setores de abastecimento pertencentes à Unidade de Negócio Centro (MC), área central da RMSP, para serem aplicados os testes de campo e para servirem de exemplo de aplicação da metodologia: Mooca, Paulista e Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, os quais estão destacados na Figura 26.

Figura 26 – Setores de abastecimento da MC, destacando-se Mooca, Paulista e Jd. São Pedro/Jd. da Conquista (Fonte: Signos Sabesp).

O setor Mooca é o mais antigo e bastante heterogêneo. Possui 820,6 km de rede e 110.763 ligações ativas de água, com uma pressão média de 45 mca.

Já o setor Paulista é um setor menor, bastante verticalizado e de alta renda. Possui 227,9 km de rede e 15.019 ligações ativas de água, com uma pressão média de 45 mca.

O conjunto dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista foi analisado como um bloco, por apresentarem transferência de água entre eles. São setores predominantemente residenciais de baixa renda, com vários núcleos de favelas e áreas invadidas. Possuem 290,3 km de rede e 51.569 ligações ativas de água, com uma pressão média de 40 mca.

A seguir são apresentados na Tabela 9 os principais dados dos setores estudados em 2008.

Tabela 9 – Principais dados dos setores estudados em 2008 (Fonte: Signos Sabesp).

Dados	Mooca	Paulista	Jd. S. Pedro/ Jd. Conquista
Área (km ²)	38.522	8.141	21.081
Ligações ativas (un)	110.763	15.019	51.569
Volume macromedido total (m ³)	54.309.056	28.513.714	19.523.663
Volume micromedido total (m ³)	37.387.230	25.552.932	7.635.122
Cota máxima (m)	800	830	880
Cota mínima (m)	720	785	740
Extensão de rede (km)	820,6	227,9	290,3
Porcentagem da rede c/ mais de 50 anos (%)	30,6	16,4	0,0
Vazamentos na rede (un)	625	148	142
Vazamentos no ramal (un)	3.110	579	3.433

Foram analisados os períodos dos anos de 2007 e 2008, mas como houve pouca diferença entre os resultados obtidos, serão apresentados somente os resultados do ano de 2008.

5.2 ENSAIOS DE CAMPO

5.2.1 MEDIÇÃO DE PRESSÃO

Para medir as pressões, foram inicialmente calculados os PPMSs de todos os setores por zona de pressão, ponderando-se o número de ligações e registros. Foram instalados então *data loggers* de pressão nos PPMSs determinados, por um período de 7 dias, com intervalo de 15 minutos.

No setor Mooca, foi instalado um *data logger* no PPMS da zona baixa de abastecimento (Figura 27) e outro na zona alta de abastecimento (Figura 28).

Figura 27 – Gráfico de pressão do PPMS da zona baixa do Setor Mooca.

Figura 28 - Gráfico de pressão do PPMS da zona alta do Setor Mooca.

Também no setor Paulista, foi instalado um *data logger* no PPMS da zona baixa de abastecimento (Figura 29) e outro na zona alta de abastecimento (Figura 30).

Figura 29 - Gráfico de pressão do PPMS da zona baixa do Setor Paulista.

Figura 30 – Gráfico de pressão do PPMS da zona alta do setor Paulista.

Já no setor Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, por ser analisado como um bloco só, foi calculado apenas um PPMS e instalado um *data logger* neste ponto (Figura 31).

Figura 31 - Gráfico de pressão do PPMS do setor Jd. da Conquista/Jd. São Pedro.

Deve-se observar que neste caso, foi necessário desprezar as medições de pressão dos dois últimos dias, pois houve problemas no abastecimento do setor.

5.2.2 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS APARENTES

Para a determinação do índice de fraudes em ligações ativas, foram realizadas vistorias em uma amostra do grupo de ligações ativas de cada um dos 3 setores pilotos.

O tamanho da amostra foi determinado pela capacidade de vistoria da equipe de caça-fraudes em cada um dos setores. As amostras foram selecionadas pela função aleatória do Excel. Cabe ressaltar que, caso de uma das ligações listadas se encontrasse inacessível, as equipes deveriam passar para a próxima da relação, e

não simplesmente vistoriar a residência vizinha, de forma a não “viciar” a amostragem. No caso do setor Mooca, como é o maior setor, com 110.763 ligações, foi utilizada uma amostra bem maior.

Foram obtidos os seguintes valores de fraudes por setor:

- Jd. São Pedro/Jd. da Conquista: 4% da amostragem (6 irregularidades em 150 vistorias);
- Mooca: 1% (5 irregularidades em 500 vistorias);
- Paulista: 0,65% (1 irregularidade em 154 vistorias);

Dos resultados acima, observa-se que a incidência de fraudes no setor Jd. São Pedro/Jd. da Conquista foi bem mais alta que nos demais setores. Entretanto, nos resultados obtidos, verificou-se que o volume fraudado por ligação nestes setores era bem menor que nos demais.

Deve-se ressaltar que, para um melhor resultado, deveriam ser utilizadas ferramentas estatísticas mais adequadas para amostragem, mas como o objetivo do ensaio é somente estimar uma incidência de fraudes, os resultados foram considerados satisfatórios, dado o limite da capacidade de vistorias da equipe de caça-fraudes, e que por se tratar de uma vistoria que requer pessoal especializado e capacitado não pode ser realizada por terceiros.

Quanto às fraudes em ligações inativas, como as ligações inativas são vistoriadas 100% na área central da RMSP, foi utilizado o histórico de 2% de ligações violadas.

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 (IPT, 2007).

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%.

5.3 CÁLCULO DOS BALANÇOS, INDICADORES E GRÁFICOS

Após o levantamento dos dados básicos de controle dos setores para o período de 2008 e a obtenção dos resultados dos ensaios de campo, foram calculados os balanços hídricos, indicadores de performance e gráficos comparativos dos respectivos setores, utilizando o *software W-B Easy Calc (v1.17)*. Será apresentada mais detalhadamente a aplicação no setor Mooca, com o passo a passo de cada planilha, e para os demais setores serão apresentadas apenas as principais planilhas.

Deve-se ressaltar que, para todos os setores, foi adotada uma margem de erro de 5% para os dados que são medidos e/ou se tem mais confiabilidade, e uma margem de erro de 10% para aqueles que são estimados e/ou cuja confiabilidade é menor.

5.3.1 SETOR MOOCA

O cálculo do balanço hídrico se iniciou com o preenchimento da planilha *W-B Easy Calc (v1.17)*. Começou-se pela planilha “Start”/Início (Figura 32), preenchendo o nome do setor e o período analisado.

Figura 32 – Planilha “Start”/Início.

Posteriormente, foram lançados os dados de entrada na planilha “Sys. Input”/Entrada do Sistema (Figura 33) com os dados de volume anual de entrada no sistema, cujo volume para o setor Mooca em 2008 foi de $54.309.056 \text{ m}^3$, com uma margem de erro estimada de 5%.

O próximo passo foi o preenchimento da planilha “Billed Cons”/Consumo faturado (Figura 34) com os consumos medidos faturados, separados por CPH. Para CPH menor ou igual a 3 m³/h, o consumo medido faturado em 2008 foi de 19.716.137 m³, e para CPH maior que 3 m³/h, o consumo foi de 17.671.093 m³. Como todos os consumos faturados são medidos, a coluna do consumo não medido faturado foi deixada em branco.

Figura 36 – Planilha “Unauth. Cons.”/Consumo não autorizado.

Posteriormente, foi preenchida a planilha “Meter errors”/Erros dos medidores (Figura 37) com os erros de submedição, utilizando o resultado dos ensaios do IPT para hidrômetros de pequena capacidade (IPT, 2007) com o valor de 17%, e o valor sugerido pela Sabesp de 5,3% para grande capacidade. Estas porcentagens foram ponderadas em função do volume por CPH, obtendo-se o erro médio de 13%, com uma margem de erro estimada de 10%. Quanto aos erros de manipulação e leitura, como o sistema encontra-se totalmente informatizado e com emissão da conta na hora da leitura, este foi considerado nulo, tendo sido deixadas em branco as respectivas linhas.

WB Mooca08.xlsx - Microsoft Excel

Formatação Condicional, Inserir, Excluir, Formatar, Estilos de Célula, Classificar e Filtrar, Localizar e Selecionar, Edição

F7

Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados				
Descrição	Total [m3/ano]	Submedição	Total [m3/ano]	Margem de erro [+/- %]
Consumo faturado medido (sem venda por atacado)	37.387.230	13%	4.860.340	10%
Venda por atacado medida (exportação)	-		-	
Consumo não faturado medido (sem venda por atacado)	-		-	
		% estimada de submedição		
Práticas de leitura erradas		0%	-	
Erros de manipulação de dados (escritório)			-	
Margem de erro [+/-]				10%
Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados				
Mínimo			4.374.306	
Máximo			5.346.374	
Melhor estimativa			4.860.340	

Billed Cons. Unb. Cons. Unauth. Cons. Meter Errors Network Pressure Intermittent Supply Financial Data Water Balance PIs Charts

Pronto

WB Paulista08.xlsx WB Mooca08.xlsx Dissertação_Perdas_... PT 19:19

Figura 37 – Planilha “Meter errors”/Erros dos medidores.

Para o preenchimento da planilha “Network”/Rede (Figura 38) foram lançados os dados de extensão de rede (820,6 km) e o número de ligações (110.763), ambos com uma submedição estimada de 1%, devido à maior confiabilidade dos dados. O número de ligações clandestinas foi considerado zero, pois já está incluído nos usos sociais, e o comprimento médio do ramal predial do limite da propriedade até o hidrômetro também é zero, pois no Brasil os hidrômetros são instalados junto à testada do imóvel.

Figura 38 – Planilha “Network”/Rede.

Posteriormente, foi preenchida a planilha “Pressure”/Pressão (Figura 39) com o valor médio ponderado das pressões medidas no PPMS, através das medições de pressão em campo. Para o setor Mooca foi obtido o valor médio de 45 mca para todo o setor (110.763 ligações), com uma margem de erro estimada de 5%.

Figura 41 – Planilha “Financial Data”/Dados financeiros.

Com o preenchimento de todas essas planilhas, foi obtido o balanço hídrico e todos os seus componentes, extraído da planilha “Water balance”/Balanço Hídrico (Figura 42). No caso do setor Mooca, observa-se que as perdas totais foram de 15.819.110 m³, subdividindo-se em 5.727.343 m³ para perdas comerciais (36,2% do total de perdas) e 10.091.767 m³ para perdas físicas (63,8% do total de perdas), observando-se, portanto, que no setor Mooca, em 2008, as perdas foram preponderantemente físicas.

Indicadores de Performance de perdas físicas					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido	País em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	5,9	28%	4	8	C	B
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	250	27%	181	318		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	6	28%	4	7		
m ³ /km rede por hora (q.s.p.)	1,40	27%	1,01	1,78		
Indicadores de Performance de perdas comerciais					Explicações	Explicações
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	15%	9%	14%	16%		

Figura 43 – Principais indicadores de performance do setor Mooca.

Para facilitar a visualização, foram apresentados os gráficos na planilha “Charts/Gráficos”, comparando o IIE do setor Mooca com dados internacionais (Figura 44), e o gráfico de perdas de água em volume (m³/ano) e valor/custo (R\$), separando as respectivas parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas comerciais e perdas físicas (Figura 45).

Figura 44 – Gráfico de comparação do IIE do setor Mooca com dados internacionais.

Figura 45 – Gráfico de Perdas de água – Volume e valor (custo) do setor Mooca.

5.3.2 SETOR PAULISTA

O volume anual de entrada no sistema para o setor Paulista em 2008 foi de 27.939.950 m³, também com uma margem de erro estimada de 5%.

O consumo medido faturado em 2008 para CPH menor ou igual a 3 m³/h foi de 4.636.400 m³, e para CPH maior que 3 m³/h, o consumo foi de 20.580.800 m³.

O volume não medido não faturado, que corresponde ao volume de usos especiais, operacionais e sociais, em 2008 foi de 159.300 m³, também com uma margem de erro estimada de 10%.

No setor Paulista, o ensaio para determinação do índice de fraudes em ligações ativas resultou em 0,65% das ligações, que ponderando em termos de volume entregue no sistema, obteve-se 0,2% do volume macromedido, que resultou em 152 m³/dia, com uma margem de erro estimada em 10%.

Para os erros de submedição, também foi feita uma ponderação em função do volume por CPH. Por ser um setor bastante verticalizado e com grande número de grandes consumidores, a maior parte da micromedição (mais de 80%) provém de hidrômetros com CPH maior que 3 m³/h, obtendo-se assim o erro médio de 8%, também com uma margem de erro estimada de 10%.

Em 2008, a extensão de rede era de 227,9 km e o setor Paulista tinha 15.019 ligações, ambos com uma submedição estimada de 1%.

A pressão média obtida através das medições de pressão também resultou em 45 mca para todo o setor Paulista, com uma margem de erro também estimada em 5%. Como não há abastecimento intermitente no setor Paulista, a planilha “Intermittent supply”/Abastecimento intermitente foi deixada em branco.

Com o preenchimento de todas as planilhas, foi obtido o balanço hídrico do setor Paulista e todos os seus componentes, extraído da planilha “Water balance”/Balanço Hídrico (Figura 46). Observa-se que as perdas totais foram de 2.563.450 m³, subdividindo-se em 2.072.674.343 m³ para perdas comerciais (80,9% do total de perdas) e 490.777 m³ para perdas físicas (19,2% do total de perdas), observando-se, portanto, que no setor Paulista, em 2008, as perdas foram preponderantemente comerciais.

Indicadores de Performance de perdas físicas					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido A Explicações	País em Desenvolvimento A Explicações
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	1,9	288%	-4	7		
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	90	288%	-168	347		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	2	288%	-4	8		
m3/km rede por hora (q.s.p.)	0,24	288%	-0,46	0,95		
Indicadores de Performance de perdas comerciais						
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	8%	10%	7%	9%		

Figura 47 - Principais indicadores de performance do setor Paulista.

Para facilitar a visualização, foram apresentados os gráficos na planilha “Charts”/Gráficos, comparando o IIE do setor Paulista com dados internacionais (Figura 48), e o gráfico de perdas de água em volume (m³/ano) e valor/custo (R\$), separando as respectivas parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas comerciais e perdas físicas (Figura 49).

Figura 48 - Gráfico de comparação do IIE do setor Paulista com dados internacionais.

Figura 49 - Gráfico de Perdas de água – Volume e valor (custo) do setor Paulista.

5.3.3 SETORES JD. SÃO PEDRO/JD. DA CONQUISTA

O volume anual de entrada no sistema para o conjunto dos setores Jd. da São Pedro/Jd. da Conquista em 2008 foi de $19.523.663 \text{ m}^3$, também com uma margem de erro estimada de 5%.

O consumo medido faturado em 2008 para CPH menor ou igual a $3 \text{ m}^3/\text{h}$ foi de $7.058.533 \text{ m}^3$, e para CPH maior que $3 \text{ m}^3/\text{h}$, o consumo foi de 576.589 m^3 .

O volume não medido não faturado, que corresponde ao volume de usos especiais, operacionais e sociais, em 2008 foi de $2.626.956 \text{ m}^3$, também com uma margem de erro estimada de 10%.

Nos setores Jd. da São Pedro/Jd. da Conquista, o ensaio para determinação do índice de fraudes em ligações ativas resultou em 4% das ligações, que ponderando em termos de volume entregue no sistema, obteve-se 10,4% do volume macromedido, que resultou em $5.542 \text{ m}^3/\text{dia}$, com uma margem de erro estimada em 10%.

Para os erros de submedição, também foi feita uma ponderação em função do volume por CPH. Por ser um setor basicamente residencial, a maior parte da micromedição (cerca de 92,5%) provém de hidrômetros com CPH menor ou igual a $3 \text{ m}^3/\text{h}$, obtendo-se assim o erro médio de 16%, também com uma margem de erro estimada de 10%.

Em 2008, a extensão de rede dos setores era de 290,3 km e os setores tinham 51.569 ligações, ambos com uma submedição estimada de 1%.

A pressão média obtida através das medições de pressão também resultou em 40 mca para o conjunto dos setores, com uma margem de erro também estimada em 5%. Como não há abastecimento intermitente nos setores, a planilha “Intermittent supply”/Abastecimento intermitente foi deixada em branco.

Com o preenchimento de todas as planilhas, foi obtido o balanço hídrico dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista e todos os seus componentes, extraído da planilha “Water balance”/Balanço Hídrico (Figura 50). Observa-se que as perdas totais foram de $9.261.585 \text{ m}^3$, subdividindo-se em $3.244.450 \text{ m}^3$ para perdas comerciais (35% do total de perdas) e $6.017.135 \text{ m}^3$ para perdas físicas (65% do total de perdas),

observando-se, portanto, que nestes setores, em 2008, as perdas foram preponderantemente físicas.

Início Volume anual de entrada no sistema 19.523.663 m3/ano Margem de erro [+/-] 5,0%	Consumo autorizado 10.262.078 m3/ano Margem de erro [+/-] 2,6%	Consumo autorizado faturado 7.635.122 m3/ano	Consumo medido faturado 7.635.122 m3/ano	Água faturada 7.635.122 m3/ano
			Consumo não medido faturado 0 m3/ano	
	Perdas de água 9.261.585 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,9%	Consumo autorizado não faturado 2.626.956 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	Consumo medido não faturado 0 m3/ano	Água não faturada 11.888.541 m3/ano Margem de erro [+/-] 8,2%
			Consumo não medido não faturado 2.626.956 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
		Perdas comerciais 3.244.450 m3/ano Margem de erro [+/-] 7,3%	Consumo não autorizado 2.022.830 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
			Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 1.221.620 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
		Perdas físicas 6.017.135 m3/ano Margem de erro [+/-] 17,3%		

Figura 50 - Balanço hídrico dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista.

Posteriormente, foram obtidos os indicadores de performance na planilha “PI”/Indicadores de Performance, onde se destacam os indicadores de perdas físicas e comerciais (Figura 51): melhor estimativa de IIE de 8,9 para os setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, indicando quantas vezes o sistema está pior do que um setor ideal, e as perdas físicas de 320 L/ligação x dia. Como grupo de performance, por se tratar de um país em desenvolvimento, os setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista se encaixam no grupo C: registro deficiente de vazamentos, sendo tolerável somente se a água é abundante e barata. Quanto aos indicadores de perdas comerciais, foi obtido como melhor estimativa o valor de 32% em relação ao consumo autorizado.

Indicadores de Performance de perdas físicas					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido D Explicações	País em Desenvolvimento C Explicações
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	8,9	18%	7	10		
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	320	17%	264	375		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	8	18%	7	9		
m3/km rede por hora (q.s.p.)	2,35	17%	1,95	2,76		
Indicadores de Performance de perdas comerciais						
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	32%	11%	28%	35%		

Figura 51 - Principais indicadores de performance dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista.

Para facilitar a visualização, foram apresentados os gráficos na planilha “Charts”/Gráficos, comparando o IIE dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista com dados internacionais (Figura 52), e o gráfico de perdas de água em volume (m^3 /ano) e valor/custo (R\$), separando as respectivas parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas comerciais e perdas físicas (Figura 53).

Figura 52 - Gráfico de comparação do IIE dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista com dados internacionais.

Figura 53 - Gráfico de Perdas de água – Volume e valor (custo) dos setores Jd. S. Pedro/Jd. Conquista.

5.4 COMPARAÇÃO COM OUTRO SOFTWARE

Para efeito de comparação dos principais resultados, foi utilizado também outro *software*, o Programa de Indicadores de Desempenho de Perdas de Água “FastCalc” Brasil, na sua versão personalizada para a Sabesp.

O “FastCalc” utiliza a terminologia da IWA, calculando também o balanço hídrico e os principais indicadores de performance.

De maneira geral, o “FastCalc” é menos amigável, por ser mais difícil de preencher, porém é mais completo. Para todos os dados inseridos, deve-se considerar uma margem de erro, e também apresenta uma planilha de análise de variância que indica quais são os componentes do balanço hídrico que apresentam maior variância, merecendo maior atenção, conforme apresentado na Figura 54.

PROGRAMA DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE PERDAS DE ÁGUA "FASTCALC" BRASIL				Versão 3A	24 de Agosto de 2006
ANÁLISE E RANKING DE VARIÂNCIA DOS COMPONENTES DE 'ENTRADA' DO BALANÇO HÍDRICO			Dados de outra planilha	Variância	Ranking da Variância dos Volumes de Entrada
Componentes do Balanço Hídrico			Valores calculados		Identificação o das 3 maiores variâncias
VFP: Volume de Fontes Próprias				248056	1
AI : Água Importada				0	8
AE: Água Exportada				0	8
CAFM(1): Consumo Autorizado Faturado: Medido			CPH <= 3 m³	324	5
CAFM(2): Consumo Autorizado Faturado: Medido			CPH >= 3 m³	2	7
CAFM(3): Consumo Autorizado Faturado: Medido			0	0	8
CAFM(4): Consumo Autorizado Faturado: Medido			0	0	8
CAFM(5): Consumo Autorizado Faturado: Medido			0	0	8
CANFM: Consumo Autorizado Faturado: Não Medido				0	8
CANFM: Consumo Autorizado Não Faturado : Medido			0,000%	de Água Distribuída	0
CANFM: Consumo Autorizado Não Faturado: Não Medido			#####	de Água Distribuída	17976
PACNA: - Perda Aparente - Consumo não Autorizado			10,36%	de Água Distribuída	10650
PAHSUB: Perda Aparente - Hidrômetro com Submedição:			CPH <= 3 m³	17,00%	de CAFM(1)
PAHSUB: Perda Aparente - Hidrômetro com Submedição:			CPH >= 3 m³	5,30%	de CAFM(2)
PAHSUB: Perda Aparente - Hidrômetro com Submedição:			0,00%	de CAFM(3)	0
PAHSUB: Perda Aparente - Hidrômetro com Submedição:			0,00%	de CAFM(4)	0
PAHSUB: Perda Aparente - Hidrômetro com Submedição:			0,00%	de CAFM(5)	0

Figura 54 – Exemplo de análise de variância do “FastCalc”.

Já o “W-B Easy Calc”, o *software* utilizado na metodologia proposta, é mais simples e fácil de preencher. Para cada dado, há uma planilha específica para ser preenchida, porém estas são mais amigáveis.

Basicamente, o que muda entre um *software* e outro, é a forma de preenchimento e apresentação dos resultados, os quais foram praticamente iguais.

Por se tratar de uma planilha comercial, não serão apresentados os detalhes de preenchimento do “FastCalc”, sendo apresentado somente um resumo comparativo dos principais resultados.

A seguir são apresentados os comparativos por setor estudado: Mooca (Tabela 10), Paulista (Tabela 11) e Jd. São Pedro/Jd. da Conquista (Tabela 12).

Tabela 10 – Comparativo dos resultados para o setor Mooca.

	W-B Easy Calc	FastCalc
Perdas totais (m³/ano)	15.819.110	15.819.400
Perdas comerciais (m³/ano)	5.727.343	5.611.500
Perdas físicas (m³/ano)	10.091.767	10.207.900
IIE	5,9	5,98
Perda física (L/lig x dia)	250	251

Tabela 11 - Comparativo dos resultados para o setor Paulista.

	W-B Easy Calc	FastCalc
Perdas totais (m³/ano)	2.563.450	2.563.500
Perdas comerciais (m³/ano)	2.072.674	2.156.800
Perdas físicas (m³/ano)	490.777	406.700
IIE	1,9	1,52
Perda física (L/lig x dia)	90	73

Tabela 12 - Comparativo dos resultados para os setores Jd. S. Pedro/Jd Conquista.

	W-B Easy Calc	FastCalc
Perdas totais (m³/ano)	9.261.585	9.260.700
Perdas comerciais (m³/ano)	3.244.450	3.500.600
Perdas físicas (m³/ano)	6.017.135	5.760.100
IIE	8,9	8,49
Perda física (L/lig x dia)	320	306

Observa-se, portanto, que os resultados são muito próximos, mostrando que é possível utilizar qualquer um dos *softwares* para o cálculo do balanço hídrico e dos principais indicadores de performance.

5.5 DISCUSSÕES

A seguir é apresentado um resumo dos principais resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta nesta dissertação (Tabela 13).

Tabela 13 – Principais resultados da aplicação da metodologia.

Setor	% das Perdas Totais		IIE	Perda Física (L/lig x dia)	Grupo de Performance	Perdas Comerciais (% Consumo Autorizado)
	Física	Comercial				
Mooca	63,8	36,2	5,9	250	B	15
Paulista	19,2	80,9	1,9	90	A	8
Jd. S. Pedro/ Jd. Conquista	65,0	35,0	8,9	320	C	32

Observa-se que, com aplicação da metodologia e a elaboração dos respectivos balanços hídricos, foi possível um detalhamento e análise das perdas físicas e comerciais de cada setor.

Apesar dos três setores de abastecimento pertencerem ao município de São Paulo, observa-se que os resultados do diagnóstico das perdas foram bastante distintos, levando a estratégias totalmente diferentes para a redução de perdas em cada setor, bem como o respectivo grupo de performance.

O perfil das perdas no setor Mooca é predominantemente de perdas físicas (63,8% do total), sendo necessária uma ênfase maior nas ações de redução de perdas

físicas para reduzir as perdas mais rapidamente neste setor, assim como nos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista (65% de perdas físicas).

Porém, ao se analisar o IIE e a perda física em L/lig x dia, verifica-se que a situação das perdas nos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista é pior do que no setor Mooca.

O IIE do setor Mooca foi de 5,9 indicando que este setor está 5,9 vezes pior do que o nível tecnicamente aceitável, enquanto o IIE dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista foi de 8,9. Além disto, a perda física destes setores foi de 320 L/lig x dia, ao passo que no setor Mooca foi um pouco menor, apresentando o valor de 250 L/lig x dia.

Em termos de grupo de performance, segundo guia geral para avaliação do Banco Mundial (Tabela 4), em função do IIE, da pressão e da perda física, o setor Mooca se enquadrou no grupo B para país em desenvolvimento: potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos e uma melhor manutenção da rede. Neste setor, portanto, deverão ser melhoradas as práticas de gerenciamento de pressão e controle ativo de vazamentos.

Já os setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista se enquadraram no grupo C: registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos. Nestes setores, portanto, deverá ser analisada a natureza dos vazamentos, principalmente os vazamentos nos ramais, cuja incidência é maior, e deverão ser implantadas práticas de controle ativo de vazamentos.

Para o setor Paulista, o diagnóstico das perdas foi bem diferente. As perdas são predominantemente comerciais (80,9% do total), o IIE apresentou um resultado relativamente baixo, indicando que este setor está apenas 1,9 vezes pior do que o nível tecnicamente aceitável, a perda física foi de apenas 90 L/lig x dia e o setor se enquadrou no grupo de performance A: redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva.

Portanto, observa-se que de posse destes diagnósticos, as estratégias e ações para redução de perdas nestes setores devem ser totalmente distintas. As ações de redução de perdas físicas devem ser priorizadas nos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, seguidas de ações também de redução de perdas físicas no setor Mooca. Já no setor Paulista, caso haja interesse em reduzir mais as perdas e recursos disponíveis, já que não há insuficiência de abastecimento, devem ser priorizadas ações de redução de perdas comerciais.

Outro ponto importante a destacar nos resultados é que os principais resultados aqui apresentados referem-se à melhor estimativa. O *software W-B Easy Calc* apresenta os resultados da melhor estimativa e sua respectiva margem de erro, levando em consideração a margem de erro estimada para cada variável.

Essas estimativas de erro só influem no resultado do limite inferior e superior, não alterando o resultado da melhor estimativa. Entretanto observam-se altas margens de erro para alguns cálculos. Sugere-se, portanto, trabalhar sempre com o resultado da melhor estimativa, já que estes serão utilizados apenas para definição de estratégias e direcionamento das ações.

6 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, as principais conclusões do trabalho apresentado são:

- Foi apresentada uma ampla revisão bibliográfica dos principais conceitos sobre perdas de água, como causas e ocorrências, indicadores e ações necessárias para redução de perdas. Verificou-se que há bastante literatura estrangeira sobre o assunto, mas poucas publicações nacionais. Isto se deve ao interesse relativamente recente sobre o assunto, e devido a muitas vezes a redução de perdas não ser prioridade para as prestadoras de serviços de saneamento no Brasil;
- Foram apresentadas as principais ações para redução e controle das perdas reais e aparentes, apresentando também ganhos que podem ser obtidos e formas de implementá-las, através de alguns estudos de caso e experiências na Região Metropolitana de São Paulo. A bibliografia indica que as ações de redução de perdas reais reduzem o volume perdido de água, reduzem o custo de manutenção com reparos de vazamentos e também reduzem o consumo de energia elétrica. Já as ações de redução de perdas aparentes aumentam o volume micromedido, e consequentemente o faturamento da empresa. Como forma de implementá-las, indica-se que, tanto as ações básicas de redução de perdas reais como aparentes, devem ser desencadeadas simultaneamente para se obter uma redução efetiva. Caso uma dessas ações não seja desencadeada, se reduzirá apenas uma parte do potencial de redução de perdas, e não se conseguirá atingir o nível econômico de perdas;
- A metodologia do balanço hídrico, utilizada neste trabalho para o diagnóstico das perdas de água, mostrou-se acessível, fácil e simples de ser utilizada, apesar de estar sujeita a imprecisões, mas que não comprometem as tomadas de decisões para ações específicas nas áreas analisadas;
- Foram utilizados e comparados dois *softwares* disponíveis para a metodologia do balanço hídrico: o de uso livre *W-B Easy Calc* e o modelo comercial *FastCalc*. Na aplicação da metodologia discutida foi utilizado o *software W-B Easy Calc*,

mostrando que, basicamente, o que muda entre um *software* e outro, é a forma de preenchimento e apresentação dos resultados, sendo obtidos resultados praticamente iguais;

- A metodologia foi aplicada em três setores de abastecimento da área central da RMSP com características distintas: Mooca, Paulista e o conjunto Jd. São Pedro/Jd. da Conquista. Os resultados dos diagnósticos mostraram que em cada setor deverá ser desenvolvida uma estratégia específica para redução de perdas. O perfil das perdas no setor Mooca é predominantemente de perdas físicas, assim como os setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, porém serão necessárias ações mais básicas e intensas nesses setores. Já no setor Paulista, as perdas são predominantemente comerciais e se encontram próximas do patamar aceitável, onde uma redução adicional de perda pode não ser econômica;
- A metodologia desenvolvida nesta pesquisa se mostrou adequada, permitindo um diagnóstico das perdas dos setores avaliados, e um posterior direcionamento das ações de redução dessas perdas, podendo ser utilizada em outros sistemas de distribuição de água, com características diversas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O início de qualquer Programa de Redução de Perdas pressupõe o conhecimento do problema a se enfrentar. A realização de um bom diagnóstico é fundamental para a redução eficiente das perdas. Focalizar ações de perdas comerciais (aparentes) numa área onde o problema são as perdas físicas (reais) poderá levar ao desperdício de recursos e não se atingir a redução de perdas desejada.

Este diagnóstico pressupõe a elaboração da matriz do Balanço Hídrico, através do qual é possível calcular os principais indicadores de performance e obter um perfil das perdas, quantificando as perdas físicas (reais) e comerciais (aparentes).

Cabe ressaltar que, a elaboração do Balanço Hídrico não é uma atividade única e estanque ao longo do tempo, ao contrário, este deve ser atualizado constantemente, conforme sejam obtidos maiores e melhores informações do sistema, calibrando, se possível, com ensaios de campo. Também é importante a confiabilidade dos dados e informações que alimentarão as planilhas, pois a precisão dos resultados depende dessa confiabilidade.

É recomendável também, na medida do possível, fazer a avaliação das perdas através das outras metodologias: avaliação da vazão mínima noturna e análise das componentes das perdas de água, confrontando seus resultados e permitindo uma calibração das variáveis e hipóteses assumidas, de forma a buscar um conjunto de resultados mais precisos e confiáveis.

Deve-se ressaltar também que, a redução das perdas de modo geral é um processo contínuo, que exige controle e continuidade das ações. A aplicação da metodologia aqui descrita deve ser feita frequentemente, permitindo a priorização das ações necessárias conforme o perfil de perdas de cada setor.

Por fim, tão importante quanto o conhecimento do problema e a aplicação das ferramentas adequadas, é o envolvimento e comprometimento de todas as áreas do prestador de serviços de saneamento, pois a redução das perdas não é um ato isolado, de responsabilidade de uma área ou de um grupo de pessoas, mas sim de cada um e de todos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDE. *Apostila do Curso de Detecção de Vazamentos Não Visíveis: Métodos Acústicos*. 1ª Edição. São Paulo: ABENDE - Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, 2003.

ABRANCHES, R. *Reabilitação de redes de distribuição de água para abastecimento público - Avaliação e Controle*. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia: Gestão e Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2009.

ALEGRE, H. *et al. Performance Indicators for Water Supply Services – Second Edition*, London: IWA Publishing, 2006.

ARIKAWA, K. C. O. *Perdas Reais em Sistemas de Distribuição De Água – Proposta de Metodologia para Avaliação de Perdas Reais e Definição das Ações de Controle*. 2005. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2005.

ARREGUI, F., CABRERA, E. JR., COBACHO, R. *Integrated Water Meter Management*, 2006.

CARVALHO, G. A., MELATO, D. S., SUZUMURA, M. *Os excelentes resultados obtidos com aplicação do fator da condição de infraestrutura em redes de distribuição de água*. Recife: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

EEA – European Environment Agency. *Indicator: Water use efficiency (in cities)*, 2003. Disponível em <www.dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=517> Acesso em setembro de 2009.

FARLEY, M., TROW, S. *Losses in water distribution networks, a Practitioner's guide to assessment, monitoring and control*, 2003.

FANTOZZI, M. *et al. Some international experiences in promoting the recent advances in practical leakage management*, International Water Association, Water

Loss Task Force, 2007. Disponível em <www.iwaom.org/wltf> Acesso em março de 2008.

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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2007.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Determinação e Caracterização da Submedição no Rol Comum em cada Unidade de Negócio da Sabesp - RMSP*. São Paulo: IPT, 2007.

IWA – International Water Association. *About IWA – Who we are*. Disponível em <www.iwahq.org> Acesso em setembro de 2008.

LAMBERT, A. *Accounting for Losses – the Bursts and Background Estimates Concepts*. Journal of the Institution of Water and Environmental Management, 1994, Volume 8 (2), pp 205-214.

LAMBERT, A.; BROWN, T. G.; TAKIZAWA, M.; WEIMER, D. *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*. Editorial. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA. London, p 227-237, 1999.

LAMBERT, A.; THORNTON, J. *Avaliação de Perdas Reais*. São Paulo: Consultoria à SABESP, 2002.

LAMBERT, A. *Ten years experience in using the UARL Formula to calculate Infrastructure Leakage Index*, International Water Association, Water Loss Task Force, Biannual Conference 2009, Cape Town, South Africa, 2009.

MELATO, D. S. *Otimização dos Resultados na Pesquisa de Vazamentos Não Visíveis em Redes de Distribuição De Água*. São Paulo: XVII Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp, 2006.

MELATO, D. S., CARVALHO, G. A. *A Troca Preventiva de Ramais de Água como Ação de Redução de Perdas Reais*. Belo Horizonte: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007a.

MELATO, D. S. *Arrastões nos Setores Casa Verde e Carrão: Casos de Sucesso na Redução de Perdas*. Belo Horizonte: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007b.

MELATO, D. S., MICHELE, S. O. *Teste para Determinação do Fator de Condição da Infraestrutura - FCI e Pesquisa de Vazamentos Não Visíveis em redes e ramais, utilizando Gás Hidrógeno*. São Paulo: XIX Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp, 2008.

MELATO, D. S., CARVALHO, G. A., THORNTON, J. *Using Component Analysis and Infrastructure Condition Factor (ICF) Field Tests to Prioritize Service Connection Replacement and Reduce Real Loss in a Sustainable Manner*, International Water Association, Water Loss Task Force, Biannual Conference 2009, Cape Town, South Africa, 2009.

MHLW - Ministry of Health, Labour and Welfare. *Water Supply in Japan*, 2007. Disponível em < www.mhlw.go.jp/english/policy/health/water_supply/1.html > Acesso em setembro de 2009.

MIRANDA, E. C. *Os níveis de perdas no Brasil ainda são elevados*. Entrevista à Revista Saneas, São Paulo, nº 27, Setembro/Outubro, 2007.

MORRISON, J., TOOMS, S., ROGERS, D. *District Metered Areas Guidance Notes*, International Water Association, Water Loss Task Force, 2007. Disponível em <www.iwaom.org/wltf>

OFWAT – Office of Water Services - England and Wales. *International Comparisons – Comparative Reporting*, 2008. Disponível em <www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt_int_08leakageintro> Acesso em setembro de 2009.

PILCHER, R. *et al. Leak Location and Repair Guidance Notes*, International Water Association, Water Loss Task Force, 2007. Disponível em <www.iwaom.org/wltf>

PMSS/SNIS – *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2006*. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2007.

SABESP. *Apostila do Curso de Perdas*. São Paulo: SABESP, 2005.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. *Perfil Regional Região Metropolitana de São Paulo*, 2009. Disponível em <www.planejamento.sp.gov.br/des/textos8/RMSP.pdf>

TARDELLI FILHO, J. Controle e Redução de Perdas, In: TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de Água*, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

THORNTON, J. *Water Loss Control Manual*. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

THORNTON, J., STURM, R., KUNKEL, G., *Water Loss Control*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

WB - World Bank, *Software WB – EasyCalc*, Version 1.17, 2006. Disponível em <www.liemberger.cc>.

9 APÊNDICE

Resumo executivo.

Planilha eletrônica *W-B Easy Calc* setor Mooca 2008.

Planilha eletrônica *W-B Easy Calc* setor Paulista 2008.

Planilha eletrônica *W-B Easy Calc* setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista 2008.