

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

STÉFANIE SCHÜTZ BOHRER

**ESTUDO PARA DIMINUIÇÃO DAS PERDAS NO SISTEMA PÚBLICO DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM O USO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS**

São Leopoldo

2019

STÉFANIE SCHÜTZ BOHRER

**ESTUDO PARA DIMINUIÇÃO DAS PERDAS NO SISTEMA PÚBLICO DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM O USO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Esp. Emilio Roberto Wild

São Leopoldo

2019

“Dans la nature rien ne se crée, rien ne se perd, tout change”

Antoine Lavoisier

RESUMO

O presente trabalho mostra dispositivos eletrônicos capazes de auxiliar as companhias de saneamento a reduzir seus percentuais de perdas. Inicialmente descreve-se um panorama geral das perdas existentes no país e em alguns lugares do mundo. Além disso, apresenta-se uma ampla pesquisa bibliográfica a fim de caracterizar e conceituar todos os tipos de perdas que podem ocorrer, suas causas e suas consequências em um sistema de abastecimento de água. Após essas definições, expõe-se métodos de gerenciamento e controle das perdas, como uso do balanço hídrico, controle das vazões mínimas noturnas, distritos de medição e controle (DMC), indicadores de perdas, e principalmente os equipamentos eletrônicos. A partir das definições preliminares dos dispositivos, escolheu-se os geofones, os correlacionadores de ruído, os hidrômetros classe C e os softwares SCADA para apresentar mais detalhadamente seus funcionamentos, características e seus resultados no quesito perdas. Ademais, relata-se dois casos de cidades brasileiras (Limeira, SP e Porto Alegre, RS) onde algumas dessas tecnologias e práticas foram empregadas, com isso pode-se exemplificar os equipamentos analisados e verificar seus resultados práticos. Avalia-se, também, as vantagens e desvantagens de cada método, bem como a empregabilidade deles em casos de perdas reais e perdas aparentes, como também se podem ser utilizados sozinhos ou se necessitam de métodos auxiliares para um bom funcionamento. Por fim, ressalta-se que para uma eficaz redução das perdas e um bom gerenciamento e controle do sistema de abastecimento é necessário aplicar, no mínimo, três dos quatro métodos apresentados, sendo necessário para isso investimentos das empresas de saneamento.

Palavras-chave: Água. Perdas. Saneamento. Controle. Gerenciamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das unidades do sistema de abastecimento de água	27
Figura 2 - Croqui do sistema de distribuição com captação em manancial de superfície e distribuição em zonas de alta e baixa pressão	28
Figura 3 - Adução com bombeamento e adução de água bruta.....	30
Figura 4 - Posição dos reservatórios no terreno.....	33
Figura 5 - Tipos de Vazamentos	39
Figura 6 - Detecção de vazamento utilizando geofone eletrônico	63
Figura 7 - Correlacionador de ruídos utilizando notebook e 2 sensores com transmissão dos dados via rádio frequência.	65
Figura 8 - Tela do software com o gráfico identificando o evento anômalo.....	71
Figura 9 - Local onde foi encontrado o vazamento	72
Figura 10 - Vazamento de água encontrado próximo ao viaduto, em Knoxville.....	72
Figura 11 - Tela inicial com as opções de relatórios e gráficos	77
Figura 12 - Tela com gráfico com as vazões horárias (ref. mês de junho/2012).....	78
Figura 13 - Tela com gráfico com a porcentagem de volume consumido	79
Figura 14 - Tela com gráfico da porcentagem de volume consumido e tabela de erros ponderados	79
Figura 15 - Tela com simulações de outros modelos de hidrômetros	80
Figura 16 - E-mail 1: Contato e questionamento inicial	99
Figura 17 - E-mail 2: Respostas da empresa	100
Figura 18 - E-mail 3 e 4: Dúvida e respostas finais	101
Figura 19 - Documento com as informações fornecidas pelo DMAE	103
Figura 20 - Documento com as informações fornecidas pelo DMAE (continuação)	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice de perdas de água em diversos países	22
Gráfico 2 - Porcentagem de perdas nas medições com hidrômetros classe B e C...67	
Gráfico 3 - Indicação de erros conforme idade e vazão dos hidrômetros	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Processos e operações do tratamento de água	31
Quadro 2 - Matriz do Balanço Hídrico (m ³ /ano)	36
Quadro 3 - Informações sobre os tipos de macromedidores	49
Quadro 4 - Detalhamento das medidas	74
Quadro 6 - Vantagens e desvantagens das tecnologias estudadas	83
Quadro 5 - Principais características das perdas de água	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de vazamentos e água perdida (Guarulhos/SP)	38
Tabela 2 - Índice Percentuais de Perdas	44
Tabela 3 - Índice de Perdas na Distribuição (IPD) e Índice de Perdas no Faturamento Total (IPFT) - Referência SNIS 2017	58
Tabela 4 - Índice de Perdas na Distribuição (IPD) e Índice de Perdas no Faturamento Total (IPFT) - Referência SNIS 2016	58
Tabela 5 - Vazão mínima (m ³ /h) em cada classe e vazão nominal do hidrômetro	66
Tabela 6 - Porcentagem de erro de medição considerando o medidor “ACTARIS / FLOSTAR-M / 2007 / UJ / C / DN100 / QN50”	80
Tabela 7 - Índices de perdas em Limeira, SP.....	84
Tabela 8 - Dados nacionais das perdas na distribuição	85
Tabela 9 - Índices de perdas em Porto Alegre, RS	86

LISTA DE SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESBE	Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
AGHTM	<i>Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux</i>
ASSEMAE	Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
DMC	Distritos de Medição e Controle
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
FEE	Fundação de Economia e Estatística
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	Internet of Things (Internet das coisas)
IP	Indicador Percentual
IPD	Índice de Perda na Distribuição
IPFT	Índice de Perdas no Faturamento Total
IVIN	Indicador de Vazamentos da Infra-estrutura
IWA	International Water Association
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
QEPR	Extensão da rede de água
QERA	Extensão do ramal predial interno
QLAT	Quantidades de ligações ativas de água
QPME	Pressão média de operação da rede
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SCADA	Controle Supervisório e Aquisição de Dados

SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNICEF	Fundo Internacional de Emergência para a Infância das Nações Unidas
VPR	Válvulas Redutoras de Pressão
VPRE	Volume de Perdas Reais de Água
VPRI	Volume de Perdas Reais Inevitáveis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 TEMA	23
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	23
1.3 PROBLEMA	24
1.4 OBJETIVOS	24
1.4.1 Objetivo Geral	24
1.4.2 Objetivos Específicos	24
1.5 JUSTIFICATIVA	24
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	27
2.1.1 Captação	28
2.1.2 Adução	29
2.1.3 Tratamento	30
2.1.4 Reservação	32
2.1.5 Fornecimento e Distribuição	34
2.2 PERDAS DE ÁGUA	35
2.2.1 Perdas Reais	37
2.2.1.1 Vazamentos	38
2.2.1.2 Extravasamentos.....	40
2.2.2 Perdas Aparentes	41
2.2.3 Controle, gerenciamento e redução	41
2.2.3.1 Indicadores de perdas	43
2.2.3.1.1 <i>Indicador Percentual (IP)</i>	43
2.2.3.1.2 <i>Indicador de Vazamentos da Infraestrutura (IVIN)</i>	44
2.2.3.2 Controle de Perdas Reais	45
2.2.3.3 Controle de Perdas Aparentes	46
2.2.3.4 Dispositivos e Equipamentos para Identificação e Controle das Perdas.....	47
2.2.3.4.1 <i>Macromedidores</i>	48
2.2.3.4.2 <i>Micromedidores</i>	50
2.2.3.4.3 <i>Equipamentos de ruído</i>	52
2.2.3.4.4 <i>Sistemas de telemetria e softwares de gerenciamento</i>	53
2.2.3.4.5 <i>Pipe Bursting</i>	55

3 METODOLOGIA.....	57
3.1 EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS PARA DIMINUIÇÃO DAS PERDAS	57
3.2 ESTUDOS DE CASO	57
3.2.1 Caso Limeira, SP.....	58
3.2.2 Caso Porto Alegre, RS.....	59
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
4.1 DELIMITANDO AS TECNOLOGIAS DE CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA.....	62
4.1.1 Geofone Eletrônico.....	63
4.1.2 Correlacionador de Ruídos.....	64
4.1.3 Hidrômetros Classe C	65
4.1.4 Sistema SCADA	69
4.2 CASO LIMEIRA - COMO A CIDADE REDUZIU SUAS PERDAS.....	73
4.3 CASO PORTO ALEGRE – O QUE A COMPANHIA DE SANEAMENTO TEM FEITO PARA CONTROLAR E REDUZIR AS PERDAS	75
5 DISCUSSÃO	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A - INFORMAÇÕES DA SONDEQ SOBRE GEOFONES E CORRELACIONADORES.....	99
ANEXO A - ALGUNS DADOS OBTIDOS COM O DMAE	103

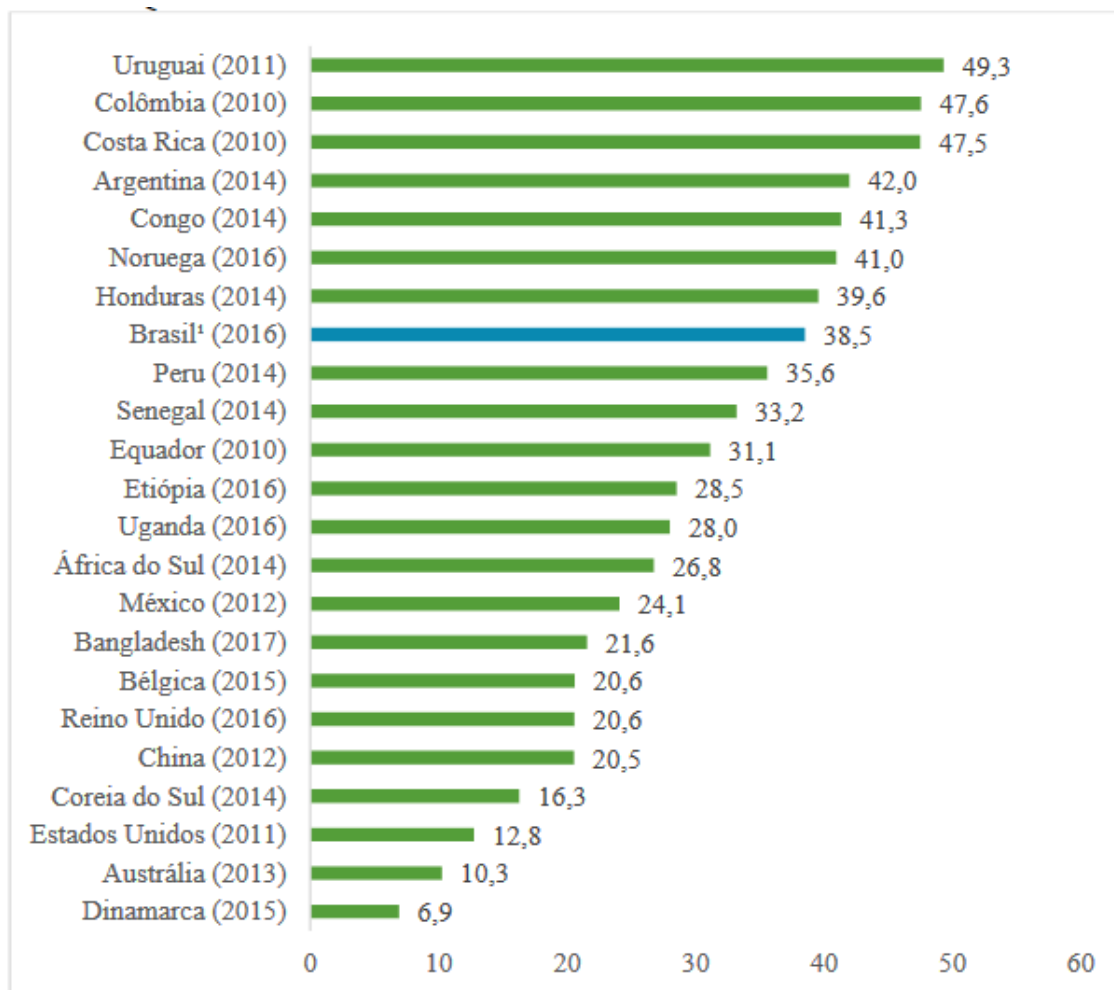
1 INTRODUÇÃO

Há muito tempo os seres humanos já sabem que a água é o bem mais precioso que existe no planeta. Todos os organismos vivos e ecossistemas precisam desse recurso para viver e se desenvolver. Por ser considerada um recurso renovável, ou seja, possuir um ciclo de transformação, sempre retornando e se renovando, foi durante muitos anos sugada do planeta sem a menor preocupação com a poluição, degradação e desperdícios ocorridos. Atualmente, a situação está mudando devido principalmente às mudanças climatológicas e escassez que estão ocorrendo em locais que não deveriam estar acontecendo. Já não há mais recursos hídricos em abundância e os que ainda existem estão em situação precária.

Segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) junto com o Fundo Internacional de Emergência para a Infância das Nações Unidas (UNICEF), de 2017, mais de 30% da população mundial não possui acesso à água potável, sendo que no Brasil, de acordo com os dados de 2017 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), ainda há, aproximadamente, 10% dos habitantes sem acesso a uma rede de abastecimento de água. A falta de saneamento básico, incluindo água potável e coleta de esgoto, acarreta inúmeros problemas, incluindo doenças, como diarreia, cólera e febre tifoide (UNICEF, 2017) e, conseqüentemente, o aumento nas despesas do setor da saúde. Estima-se, de acordo com a OMS, que a cada um dólar gasto em saneamento, quatro sejam poupados em serviços de saúde.

Essas informações ficam ainda mais alarmantes quando se vê a quantidade de água que é desperdiçada, perdida ou não contabilizada dentro de todo sistema de abastecimento de água. Segundo o relatório “Perdas de Água 2018 (SNIS 2016): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico” de 2018, do instituto Trata Brasil, é difícil fazer a comparação dos dados dos índices de águas não faturadas entre os países, visto que existem métodos de avaliação diferentes entre eles e, portanto, não se pode julgar o sistema com base em apenas esse critério. Pode-se dizer, no entanto, que as quantidades de água perdidas e não faturadas são, na maioria dos casos, muito grandes, significando um desperdício de recursos naturais e de dinheiro que poderiam ser utilizados para abastecer outras residências.

Gráfico 1 - Índice de perdas de água em diversos países



Fonte: Ibmnet (apud INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018, p. 41).

O SNIS divulga anualmente dados sobre as perdas de água no Brasil. Os últimos valores, referentes a 2017, afirmam que na média nacional o índice de perdas na distribuição foi de 38,3%, sendo que os piores valores foram encontrados na região Norte (55,1%) e os melhores na região Centro-Oeste do país (34,1%). Contudo, o professor Luiz Augusto Domingues, em seu curso “Redução e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento”, contesta esses valores. De acordo com ele, a maioria dos municípios não tem o controle e gerenciamento dessas perdas, logo, os valores fornecidos ao SNIS são, em muitos casos, inventados ou aproximados, distorcendo, desse modo, a realidade e os valores finais.

1.1 TEMA

O saneamento ambiental é de suma importância para a sobrevivência de todos os seres humanos e do meio ambiente e refere-se, segundo Leme (1984), ao conjunto de ações e medidas de controle empregados que visam defender e estabelecer a saúde e bem-estar da população. Dentro dessas medidas, encontra-se o saneamento básico, que por sua vez é composto pela disponibilidade de acesso à água potável, à coleta de esgoto, à coleta de resíduos sólidos e ao manejo/drenagem das águas pluviais.

Sabe-se que há diversos problemas em todas essas áreas de atuação do saneamento básico, contudo, o enfoque deste trabalho será o controle das perdas de água ocorridas durante as etapas do abastecimento. Como visto acima na introdução, dados sobre as perdas de água serão divulgados durante o trabalho mostrando a atual situação do Brasil, estados e cidades, com relação à temática das perdas e como é imprescindível a realização de mudanças drásticas nesse aspecto.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Intenta-se entender onde ocorrem os desperdícios de água, porque ocorrem, como surgem, os prejuízos financeiros causados e como controlá-los ou evitá-los. Para isso, será apresentado as melhores tecnologias e equipamentos usados para o controle e redução das perdas e os *cases* de sucesso (cidades e suas companhias de saneamento) que aplicaram tais métodos e obtiveram grandes reduções nos últimos anos.

Nesses *cases*, o intuito não é realizar aprofundados estudos de caso, tão pouco se teve a intenção de comparar os números e dados entre duas companhias, visto que as mesmas não possuem redes de abastecimento semelhantes. Contudo, acreditou-se que seria necessário apresentar, de maneira simplificada, locais onde houve sucesso na implantação dos dispositivos, garantindo maior credibilidade para as tecnologias apresentadas.

1.3 PROBLEMA

Elevadas perdas no sistema de distribuição acarretam prejuízos financeiros para a população e governos, bem como danos ambientais para todo o planeta.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é entender e analisar os conceitos referentes às perdas de água e ao seu controle, bem como estudar os tipos de dispositivos eletrônicos utilizados para gestão, controle e diminuição das perdas nos sistemas de distribuição de água.

1.4.2 Objetivos Específicos

Lista-se como objetivos específicos desse estudo, os seguintes itens:

- a) Encontrar equipamentos eletrônicos destinados a reduzir as perdas de água no sistema de abastecimento;
- b) Entender o funcionamento desses equipamentos e a melhor forma de operá-los;
- c) Estudar os sistemas de abastecimento das cidades de Limeira (SP) e de Porto Alegre (RS);
- d) Propor as melhores alternativas de controle de perdas para as empresas de saneamento estudadas;

1.5 JUSTIFICATIVA

O tema proposto é de fundamental importância, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista da sustentabilidade. A crescente demanda por soluções sustentáveis e, ao mesmo tempo, economicamente viáveis estão fazendo muitos profissionais de diferentes áreas repensarem seus projetos e concepções.

Por muito tempo, a característica dominante dos brasileiros era de usar ao máximo todos os recursos possíveis sem nenhum tipo de manutenção preventiva.

Com isso, muitas cidades que tiveram suas redes de água construídas há mais de 30 anos estão sofrendo atualmente com o alto índice de perdas, além de riscos de doenças, como o câncer devido às tubulações antigas serem de material inadequado (PORTAL G1, 2015).

Logo, entende-se que a função do Engenheiro Civil não é somente a de calcular e construir novas edificações, mas projetar novos modelos de cidades e de sociedades, onde a preocupação com o meio ambiente e a sustentabilidade encontrem, de forma harmônica, a viabilidade financeira. Acredita-se, por fim, que o controle das perdas de água é um dos caminhos que pode ser seguido nessa busca da otimização dos recursos naturais e da diminuição dos prejuízos financeiros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

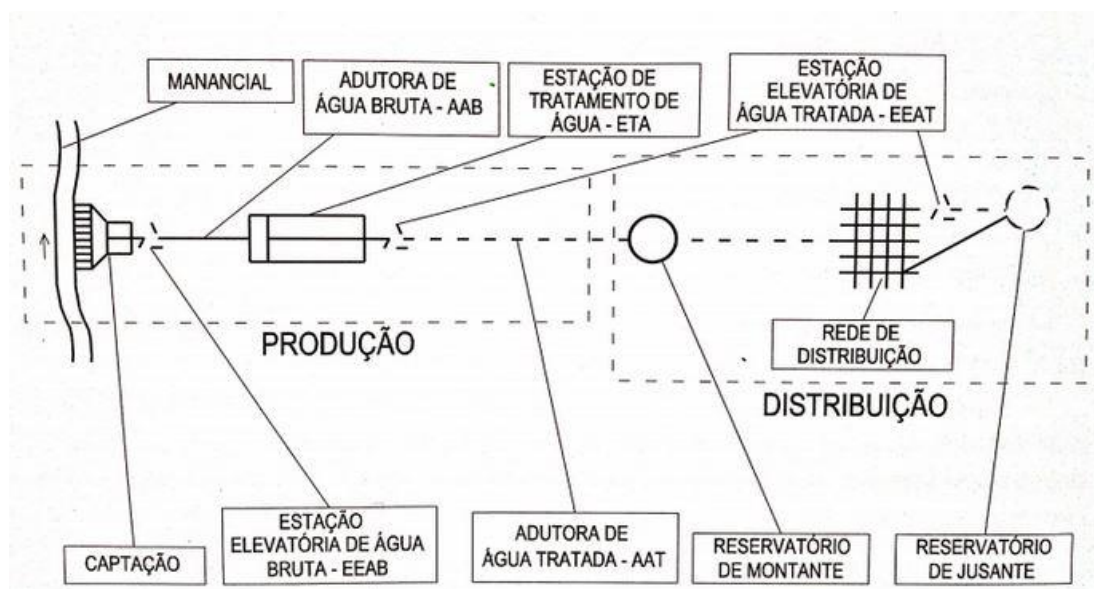
Para um entendimento total sobre as perdas de água, considera-se necessário compreender, primeiramente, o sistema de abastecimento, visto que é um complexo sistema e pode apresentar inúmeros locais onde as perdas podem ocorrer. Além disso, antes de encontrar métodos para solucioná-las e controlá-las é preciso diagnosticar, traçar estratégias e compreender os tipos de perdas que ocorrem dentro do sistema.

2.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água é, de acordo com Heller e Pádua (2006), um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos responsáveis pela produção e distribuição da água potável para as comunidades. É de incumbência do poder público, direta ou indiretamente (autarquias), que pode ou não conceder ou permitir essa administração para a iniciativa privada.

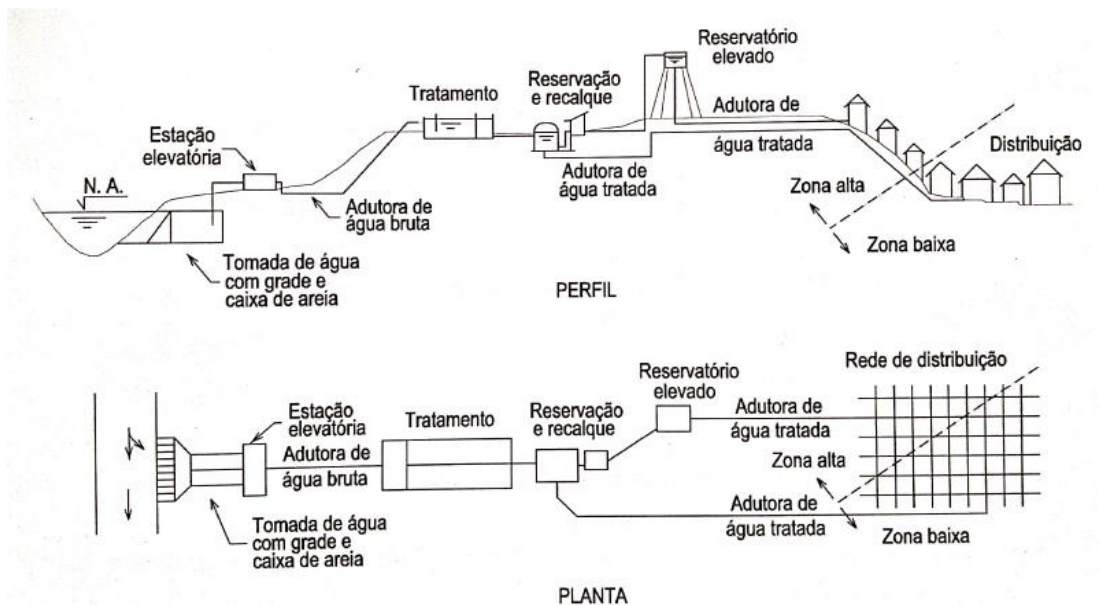
De maneira geral, pode-se dividir o sistema em cinco etapas: captação, transporte ou adução, tratamento, reservação e fornecimento/distribuição. Essas fases podem aparecer de maneiras diferentes dependendo do tipo e traçado da rede, todavia, é de fundamental importância a compreensão do funcionamento desses sistemas.

Figura 1 - Representação das unidades do sistema de abastecimento de água



Fonte: Heller (2006, p. 74).

Figura 2 - Croqui do sistema de distribuição com captação em manancial de superfície e distribuição em zonas de alta e baixa pressão



Fonte: Heller (2006, p. 101).

Como cita Vilas-Boas (2008), o estudo do sistema de abastecimento é de fundamental importância, pois produz efeitos em questões sanitárias, sociais e econômicas, tais como diminuição das taxas de mortalidade infantil e diminuição de doenças relacionadas à baixa qualidade da água (um sistema com tratamento eficiente evita esses problemas), melhoria da higiene básica das comunidades, diminuição de custos com saúde pública, bem como a redução no volume das perdas.

2.1.1 Captação

Essa é a primeira etapa de um sistema de distribuição e abastecimento de água. É nessa fase que ocorre a captação da água bruta, ou seja, é onde se obtém a água que será posteriormente tratada e distribuída para a população. Segundo Leme (1984), na etapa de captação é necessário basicamente uma fonte de suprimento de água, um tubo para tomada do fluido, equipamentos de proteção, operação e controle da entrada de água e uma elevatória ou recalque da água bruta.

Entretanto, vale ressaltar que, dependendo das características do sistema ou da disposição dos elementos, nem todos os itens acima serão necessários. Ainda segundo o mesmo autor, a fonte de suprimento pode ser de águas superficiais (rios,

lagos, arroios ou lagoas), subterrâneas (lençol freático – poços artesianos) ou, em menor escala, águas atmosféricas (barragens ou reservatórios com águas provenientes das chuvas).

O tubo de tomada da água é, conforme Prince (2006), um equipamento que irá captar a água superficial e a guiará pela canalização até a próxima etapa do processo. Já os dispositivos de proteção e controle são, normalmente, comportas, registros, reservatórios de regularização de pressão, grades, telas e/ou desarenadores (LEME, 1984).

Lembra-se que a captação deve ser realizada sempre em uma região a montante da cidade, mas, principalmente, a montante do descarte dos efluentes sanitários, a fim de evitar contaminação proveniente da poluição dos resíduos de esgoto domésticos e industriais.

2.1.2 Adução

Essa etapa corresponde ao processo de transporte da água entre diferentes fases do sistema de abastecimento. Conforme Leme (1984), a adução da água bruta corresponde às tubulações que levam o líquido saído da captação até a estação de tratamento de água (ETA). Já a adução de água tratada é a canalização que direciona a água limpa proveniente da ETA até um reservatório de distribuição ou, quando este último não existir, diretamente para a rede de distribuição.

As adutoras costumam ser canalizações únicas. Contudo, de acordo com Netto e Fernández (2018), pode existir as subadutoras (ou adutoras secundárias), que são derivações da rede principal para atender outros pontos do sistema ou conectar a distribuição entre dois reservatórios. Além dessa classificação, Tsutiya (2006) categoriza as adutoras conforme a energia para movimentação da água. Nesse caso, as adutoras podem ser de gravidade, por recalque ou mistas (com trechos por gravidade e outros com recalque).

As adutoras por gravidade transportam a água, como o próprio nome sugere, através da ação da gravidade, ou seja, de um ponto alto a outro com cota mais baixa. O escoamento da água, por sua vez, nesse tipo de adução, pode ser feito com pressões acima da pressão atmosférica (caso dos condutos forçados) ou sob a pressão atmosférica (condutos livres). Também podem ocorrer casos em que a

adutora possui partes em condutos forçados e outros trechos em condutos livres (TSUTIYA, 2006).

Já as adutoras por recalque necessitam de dispositivos, como bombas elevatórias ou *boosters* (impulsionador), para transportar a água, visto que o traçado da rede exige a passagem da água de um ponto baixo a outro com cota superior. Muito comum nos sistemas de abastecimento de grande e médio porte, esse método apresenta algumas desvantagens, segundo Vilas-Boas (2008), tais quais: o aumento das despesas com a energia elétrica necessária para as bombas e sua manutenção, como também a necessidade de mão de obra especializada para operação e o risco a falhas e interrupções do fornecimento.

Figura 3 - Adução com bombeamento e adução de água bruta



Fonte: COMPESA (apud SILVA JUNIOR, 2017, p. 30).

Na etapa de adução, como se verá mais adiante, é onde ocorre os maiores volumes de perdas por vazamentos, podendo ocorrer tanto na adução da água bruta, como também no transporte da água já tratada até as residências. Portanto, deve-se atentar para os controles das vazões e volumes presentes nessa fase, bem como realizar a manutenção das bombas das estações elevatórias.

2.1.3 Tratamento

Segundo a Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, em seu anexo XX (antiga portaria 2914/2011), toda a água destinada ao consumo humano via sistema de abastecimento deve possuir algum tipo de controle e vigilância relacionado à qualidade da mesma, a fim de atingir os padrões mínimos de potabilidade. Para isso, a mesma portaria define quais são esses padrões, incluindo valores máximos de coliformes fecais, quantidade de matéria orgânica, limite de

turbidez, de flúor, de cloro (valores mínimos e máximos) etc.

Para distribuir uma água de qualidade para a população é, portanto, necessária a realização de etapas de tratamento. O tipo de tratamento empregado dependerá, conforme o artigo 4 do CONAMA 357 (BRASIL, 2005), da classificação da água doce que está sendo captada. Mananciais menos poluídos (classe especial ou classe I) passarão apenas pela desinfecção ou por um tratamento simplificado. Já águas com níveis de degradação um pouco maior (classe II e III) deverão ser tratadas por um sistema convencional ou avançado.

Ainda segundo o CONAMA (artigo 2) (BRASIL, 2005), entende-se como tratamento simplificado aquele composto por filtração, desinfecção e correção do pH (se necessário). Já o tratamento convencional compreende a coagulação, floculação, desinfecção e correção do pH. Enquanto o avançado ainda precisa de algum outro método para remoção ou inativação de outras substâncias não removidas nas etapas anteriores iguais ao tratamento convencional.

Sendo assim, uma ETA pode possuir diferentes processos e tamanhos dependendo da vazão necessária no sistema, do volume e local de captação e das características da rede de distribuição. Pádua (2006) apresenta o quadro abaixo que, de forma simplificada, explica os processos e operações existentes na etapa de tratamento de água:

Quadro 1 - Processos e operações do tratamento de água

(continua)

Processo/Operação	Descrição/Finalidade
Micropeneiramento	Passagem da água por peneiras, visando a remoção de material particulado.
Oxidação/aeração	Oxidar a matéria orgânica e inorgânica existente na água para facilitar a futura remoção.
Adsorção	Colocar uma substância adsorvente na água (normalmente carvão ativado) para remover compostos orgânicos e inorgânicos indesejáveis.
Coagulação	Adição de coagulante que desestabiliza as impurezas presentes na água e facilita o aumento do tamanho na fase de floculação.
Floculação	Aglutinação das impurezas coaguladas, através de uma agitação prolongada.

(conclusão)

Processo/Operação	Descrição/Finalidade
Decantação	Sedimentação/deposição das impurezas no fundo do tanque.
Flotação	Impurezas são levadas por microbolhas para superfície de um tanque.
Filtração	Remoção de material particulado, impurezas e contaminantes através da passagem da água por um meio granular (areia ou antracito) ou em membranas (abertura menor a 1µm).
Desinfecção	Destrução de microrganismos patogênicos (normalmente com cloro, ozônio ou radiação ultravioleta (VILLAS-BOAS, 2008).
Abrandamento	Utilização de cal ou compostos específicos (zeolitos) para reduzir a dureza da água e remover alguns contaminantes inorgânicos (LEME, 1984).
Estabilização Química	Adição de substâncias para diminuir a corrosão ou incrustação dos tubos da rede de distribuição.

Fonte: Adaptado de Pádua (2006, p. 522).

2.1.4 Reservação

Os reservatórios de água são elementos de extrema importância nos sistemas de abastecimento das cidades brasileiras, pois são eles que armazenam a água já tratada e mantêm a regularidade na distribuição. Seus principais objetivos são, segundo Tsutiya (2006), balancear as vazões de adução e distribuição e as pressões do sistema, dar segurança e uniformidade ao abastecimento, disponibilizar reserva de água em situações de incêndio e armazenar água fora do horário de pico elétrico.

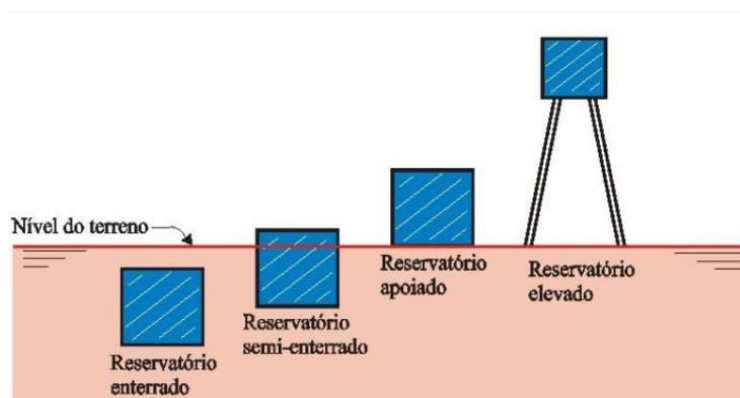
Todo sistema de abastecimento é projetado levando em consideração as vazões médias de consumo. Logo, ao dizer que uma das finalidades do reservatório é balancear as vazões, significa que quando a hora de pico chegar (demanda for maior que a média estipulada), o reservatório deverá suprir as necessidades da população e quando a demanda for inferior à vazão média, o mesmo deverá acumular e reservar a água para posterior utilização (COELHO; LIBÂNIO, 2006).

Já armazenar a água fora do pico elétrico quer dizer que o reservatório, além de acumular a água no horário de menor demanda, pode armazenar na hora de menor consumo elétrico também (normalmente a noite), resultando em uma economia de energia e de custo operacional para encher todo o reservatório. Outros objetivos, como disponibilizar a água em casos de incêndio ou em situações de instabilidade do sistema (quando há algum conserto e a adução é afetada, por exemplo), fazem com que o reservatório seja apenas uma medida preventiva e sirva como solução nesses casos emergenciais. (TSUTIYA, 2006).

Regularizar e manter as pressões, por fim, significa que, dependendo da distribuição da rede e dos locais onde estão alocados os reservatórios, os mesmos servirão para diminuir as variações das pressões. Conforme Coelho e Libânio (2006), em pontos distantes de uma rede com ampla variação altimétrica, as pressões no final da rede tenderão a ser maiores. Portanto, faz-se necessário o uso de outro reservatório mais próximo ao final da rede para balancear essa diferença, já que, como será visto mais adiante, a pressão exerce grande influência no controle das perdas de água.

Segundo Tsutiya (2006), pode-se classificar os reservatórios quanto a sua localização no sistema e no terreno, quanto a sua forma e quanto ao material utilizado na construção. Quanto a localização no terreno, eles podem ser enterrados, semienterrados, apoiados ou elevados, como mostra a figura 4 a seguir. Já quanto a localização na rede, eles podem estar a montante, ou seja, a água entra nele e depois é distribuída, ou a jusante (chamado também de reservatório de sobras) localizado após a distribuição e, portanto, recebe água somente nas horas de menor consumo (“sobras” da rede) e abastece nas horas de pico.

Figura 4 - Posição dos reservatórios no terreno



Fonte: Alem Sobrinho e Contrera (apud GUEDES, [2019?], p. 12).

Conforme Tsutiya (2006), os reservatórios possuem diferentes formatos, sendo os retangulares ou circulares mais usados, e podem ser feitos em concreto armado, fibra de vidro, aço ou outros materiais, como alvenaria. A escolha pelo material e formato deve ser feita levando em consideração a capacidade de reserva necessária, as condições do solo, a agressividade da água e questões financeiras.

2.1.5 Fornecimento e Distribuição

A última etapa do sistema de abastecimento antes de chegar até o consumidor final é a rede de distribuição e de fornecimento. Essa consiste em uma série de tubulações, válvulas, conexões e medidores instalados sob as vias públicas destinadas a levar a água potável na quantidade e qualidade adequadas para a população ininterruptamente. (PRINCE, 2006).

De acordo com Tsutiya (2006), existem dois tipos de canalizações: as principais (conduto tronco ou canalização mestra), que são as tubulações com diâmetros maiores e que abastecem as secundárias, e as próprias secundárias que recebem as águas da rede mestra e distribuem pelos pontos da rede. Além disso, as redes podem ser classificadas de acordo com o modelo de distribuição (LEME, 1984): redes ramificadas, redes malhadas e redes mistas.

As redes ramificadas ocorrem quando o fluxo de água sai da canalização tronco e vai para as secundárias em apenas um sentido de alimentação. Apenas recomendadas para pequenas comunidades, visto que se ocorrer alguma falha do abastecimento toda a rede fica sem água. Seus traçados podem ser em espinha de peixe ou em grelha. As redes malhadas podem ter seus traçados em anéis ou blocos e são aquelas em que o escoamento pode assumir qualquer direção, podendo-se abastecer os pontos do sistema por vários caminhos distintos. As redes mistas, como o nome já pressupõe, são as que consistem na mistura dos outros dois tipos de redes. (LEME, 1984).

Cuidados devem ser tomados na hora de projetar, executar e operar essas tubulações, pois ao contrário de outras partes do sistema que são relativamente menores e estão aparentes aos olhos, estas estão enterradas e possuem grande extensão. (TSUTIYA, 2006). Segundo Prince (2006), as falhas nesses processos causam uma série de problemas, incluindo, principalmente, queda da qualidade,

reclamações de usuários e aumento das perdas de água.

2.2 PERDAS DE ÁGUA

Conforme Tomaz (2011), o conceito de perdas de água mais utilizado atualmente foi definido pela International Water Association (IWA) em 1996, após estudos realizados a fim de englobar e padronizar os tipos e formas de perdas existentes no mundo todo. Após o ano 2000, todos os países, com exceção do Japão, passaram a adotar as definições e parâmetros definidos pelo relatório dessa associação. Dessa forma, entende-se que perda de água é, de acordo com a IWA (apud FUNASA, 2014, p. 13), “toda perda real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina aumento do custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional”.

Para entender e avaliar as perdas existentes no sistema, Miranda (2006) diz que deve-se ter controle do problema e para isso é necessário pleno conhecimento do sistema, incluindo todos os números e valores referentes às perdas, aos custos para a redução e controle dessas quantidades, relação entre a oferta e demanda e, ainda, compreender as causas e consequências dos volumes perdidos. No fim, o operador do sistema poderá traçar um plano de ação para o combate a elas.

A melhor maneira de se entender e avaliar o sistema é, ainda de acordo com Miranda (2006), utilizar-se do cálculo do balanço hídrico. Esse balanço, conforme Tardelli Filho (2006), é uma ferramenta de gestão que permite averiguar todos os componentes do sistema, fluxos e usos da água e deve ser feito com medições precisas e criteriosas em todos os pontos do sistema. Normalmente, é feito com base na média anual, levando em conta as variações de sazonalidade.

Sendo assim, a IWA propôs em seu relatório um modelo de balanço hídrico que apresenta grande parte dos fatores envolvidos na gestão das perdas de água. Nele pode-se observar, de forma geral, os volumes de entrada, consumidos, medidos e faturados de um sistema de abastecimento. De forma sucinta, entende-se que o cálculo das perdas de água deve ser o resultado da subtração do volume utilizado/consumido pela população do volume de entrada de água no sistema. (IWA apud FUNASA, 2014).

Quadro 2 - Matriz do Balanço Hídrico (m³/ano)

$$\text{Perda} = \text{volume de entrada} - \text{volume consumido}$$

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo Autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água Faturada
			Consumo faturado não-medido (estimados)	
		Consumo autorizado não-faturado	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa etc.)	Água não-faturada
			Consumo não-faturado não medido (combate a incêndios, favelas etc.)	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Consumo não-autorizado (fraudes e falhas no cadastro)	
			Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais	Vazamentos na adução e/ou tratamento	
			Extravasamento nos reservatórios	
			Vazamentos nos ramais prediais	

Fonte: Adaptado de Alegre *et al.* (2004, p. 22).

Algumas considerações e explicações devem ser feitas com base na matriz do balanço hídrico:

- a) Deve-se salientar que o balanço hídrico está apresentado de forma geral, resumida e que quanto mais detalhamento houver nas medições e classificações melhor será o resultado final, ou seja, melhor será o controle das perdas e maior será o domínio sobre o sistema;
- b) Consumo autorizado faturado corresponde aos únicos volumes que geram receitas para o operador do sistema. Divide-se em consumo medido, utilizando-se hidrômetros, e os não medidos, ou seja, não possuem hidrômetros; mas a medição é feita conforme estimativas, com base no nível de renda, classe econômica, número de moradores e padrões similares a outras economias;

- c) Consumo autorizado não-faturado refere-se aos volumes que não são financeiramente cobrados. Normalmente são os usos da água feito pelo corpo de bombeiros, alguns hospitais e pelo uso da própria companhia de saneamento. De acordo com Domingues, em seu curso “Redução e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento”, todos os consumos autorizados não-faturados deveriam ser medidos para maior controle do sistema. Entretanto, encontra-se em muitas cidades hidrantes sem micromedidores ou até mesmo prédios da companhia de saneamento (e às vezes até a prefeitura) sem hidrômetros para registro da água utilizada;
- d) Algumas situações são mais complicadas de se medir, como são os casos das favelas e regiões controladas pelo tráfico ou milícias. Nesse caso, Domingues sugere instalar um macromedidor na rede de entrada de tais locais e fazer uma estimativa com base nos volumes calculados por ele. Nessa matriz, considera-se como consumo autorizado não-faturado, pois enquadra-se como “uso-social” (TARDELLI FILHO, 2006), porém, dependendo do caso, pode-se considerar como uso não autorizado (resultado de “gatos” na rede).

2.2.1 Perdas Reais

Como pode-se ver na matriz, a conceituação atual de perdas de água se distingue em dois tipos: perdas reais e perdas aparentes. No Brasil, esses termos podem ser conhecidos também como perdas físicas e perdas não físicas, respectivamente. (MIRANDA, 2006). Perdas reais podem ser consideradas como as perdas mais visíveis e, segundo Tardelli Filho (2006), são aquelas em que a água não chega até o consumidor devido a todos os tipos de vazamentos na rede de distribuição ou devido aos extravasamentos dos reservatórios, ou seja, a água é produzida (ou, no mínimo, captada), mas que não chega até o cliente.

Águas utilizadas na limpeza do sistema de distribuição (principalmente na ETA) podem ser consideradas uma parte das perdas reais. Essas deveriam possuir um controle maior e sempre serem medidas, visto que já é esperado uma perda mínima com destino a operação da ETA. No entanto, em alguns casos há um gasto mais elevado do que o esperado. Tardelli Filho (2006) diz que há um entendimento entre as companhias de que existe esses volumes para operação da ETA e de que

se houver uso excessivo, este deve ser considerado uma perda real. Contudo, o que não se tem consenso é a partir de qual volume esse consumo passa a ser considerado exagerado.

2.2.1.1 Vazamentos

O principal componente das perdas reais são os vazamentos. Esses podem ocorrer em todas as fases do sistema, desde a captação até o ramal de entrada do consumidor, contudo, são mais frequentes nas tubulações de adução, conexões das tubulações do sistema e nos cavaletes e ramais prediais. Segundo uma pesquisa realizada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto Guarulhos (SAAE) em 1993, a maior incidência de vazamentos ocorre nos ramais prediais (Tabela 1). Entretanto, Tardelli Filho (2006) afirma que, apesar da incidência de vazamentos nas redes primárias e secundárias ser inferior aos dos ramais prediais, as vazões ocorridas nesses casos são maiores. Dessa forma, a proporção relativa ao volume será diferente em relação ao número de casos.

Tabela 1 - Quantidade de vazamentos e água perdida (Guarulhos/SP)

Vazamentos (Pesquisa SAAE)	Quantidade de Vazamentos	Volume de Água Perdida
Em rede	9%	48%
Em ramais prediais	91%	52%
Total	100%	100%

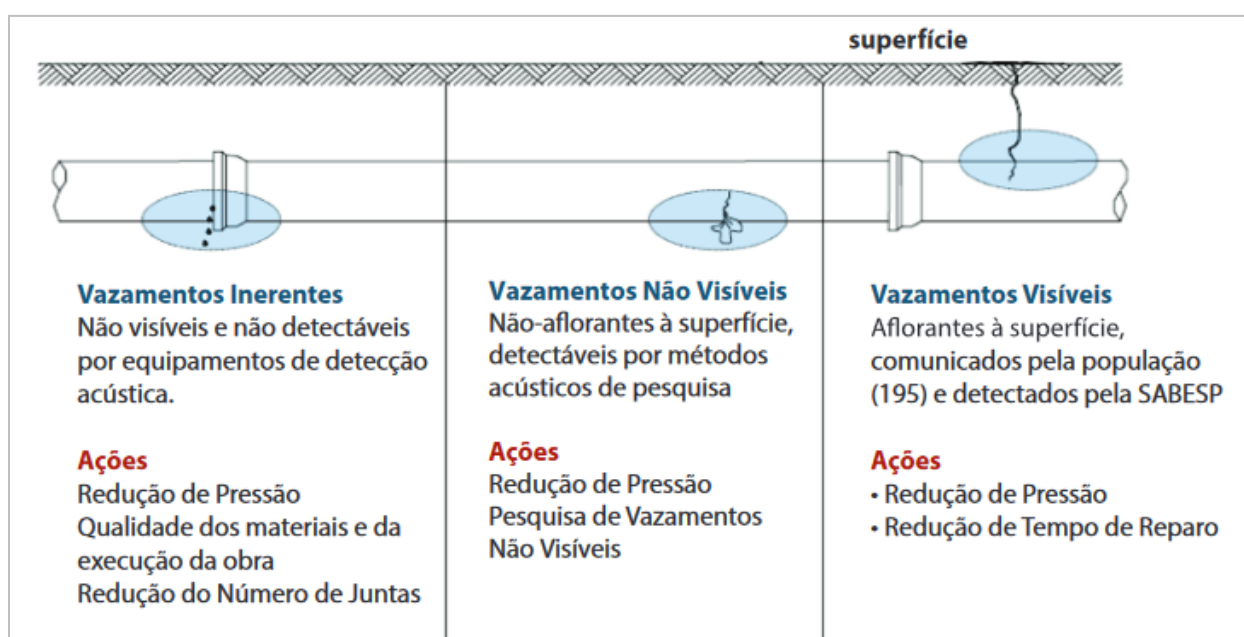
Fonte: Adaptado de Tomaz (2011, p. 125).

Entidades como a IWA, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), a FUNASA, entre outras, classificam os vazamentos em dois grupos: os vazamentos visíveis e os não-visíveis, sendo que esse último se subdivide em detectáveis e inerentes. O primeiro grupo, como o nome já sugere, são os vazamentos constatados a olho nu e podem ser resolvidos mais rapidamente. Nos casos em que acontecem nas tubulações enterradas, podem demorar um certo tempo até o afloramento, logo, passam a fazer parte do grupo dos vazamentos visíveis somente a partir desse momento. Antes disso, são considerados vazamentos não-visíveis, ou seja, fugas que necessitam de equipamentos e técnicas

para sua identificação e resolução.

Contudo, existe ainda casos em que os vazamentos estão posicionados de certa forma e com uma vazão tão pequena que, mesmo com equipamentos apropriados (como será visto no item 2.2.3.4), não se consegue identificar as fugas. Além disso, Lopes (2013) afirma que o tipo de solo onde está a rede também pode influenciar na visibilidade do vazamento. Segundo Lambert (apud MELATO, 2010), esses vazamentos são conhecidos como inerentes (não detectáveis) e possuem vazão de até 0,25m³/h.

Figura 5 - Tipos de Vazamentos



Fonte: FUNASA (2014, p. 29).

Para evitar grandes volumes de perdas de água sem que haja conhecimento do operador do sistema, é necessário que se faça um controle contínuo e pesquisas frequentes na rede utilizando equipamentos adequados - e calibrados - a fim de encontrar vazamentos não-visíveis detectáveis em suas fases iniciais.

Fatores como o tamanho (comprimento) dos tubo e da rede, o número de conexões e ligações, a qualidade dos materiais empregados, má execução da obra, a idade da tubulação, a qualidade da água (que pode corroer internamente a tubulação), as condições de operação e de manutenção e até mesmo fatores externos, como poluição/agressividade do solo (corrosão externa) e movimentação de terra causadas por outras obras, influenciam muito ou são as grandes causas das

perdas. Entretanto, o fator que mais exerce influência é a pressão média de operação da rede. (MIRANDA, 2006).

De acordo com Miranda (2006), esse fator é importante porque a vazão (Q) que escoar em um orifício de área (A) depende da pressão (P), multiplicada por duas vezes a gravidade, elevada a potência 0,5. Isso significa que a quantidade de água que vaza nos orifícios da tubulação varia muito conforme a pressão presente na distribuição.

$$Q = Cd \times A \times (2gP)^{0,5} \quad \text{Equação 1}$$

Contudo, após alguns testes realizados, notou-se que a área do orifício também pode variar de acordo com a pressão, principalmente em tubos de PVC, ou em alguns casos a área aumenta devido a outros fatores, como, por exemplo, a corrosão. Logo, ao se ter uma área efetiva maior, a vazão de água vazada também será. (MIRANDA, 2006).

2.2.1.2 Extravasamentos

Outro tipo de perda física são os extravasamentos. De acordo com Tardelli Filho (2006), esse tipo de perda é relativamente menor e causa menos impacto no contexto global do sistema. Mesmo assim, deve-se alertar sobre este tipo de perda, pois poderia ser totalmente evitada caso houvesse uma maior preocupação das companhias de saneamento. Os extravasamentos ocorrem nos reservatórios de água tratada, que são frequentemente usados para regularização de pressão do sistema. Normalmente, a água desses reservatórios é liberada durante o dia para ser distribuída no sistema e à noite, quando o reservatório chega ao volume mínimo, é carregado novamente.

O que acontece é que muitas vezes não há, ou estão estragadas, as boias ou dispositivos de alerta e controle que desligam as bombas de recalque. Quando não há esse controle, a água entra no reservatório e, mesmo depois de cheio, continua entrando e assim começa a sair pelo extravasador, podendo parar na rede de drenagem ou em outro local onde passará despercebida. Esse volume, portanto, não será medido e causará dificuldades posteriormente na quantificação e controle das perdas. (TARDELLI FILHO, 2006).

2.2.2 Perdas Aparentes

As perdas aparentes são, também de acordo com Tardelli Filho (2006), as perdas correspondentes aos erros de medição, aos erros de leitura, ao uso de ligações irregulares, à má manutenção/instalação dos medidores ou à falhas no cadastro, isto é, a água chega até o consumidor final, porém, não gera receita para a companhia de saneamento. Este tipo de perda está mais associado às falhas de operação e controle do sistema por parte da companhia de saneamento.

Durante o curso “Redução e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento”, o professor Luiz A. Domingues afirmou que essas perdas podem ser minimizadas utilizando-se medidores de vazão – de bons fabricantes, calibrados e em grande quantidade – e de uma boa gestão comercial. Os medidores de vazão, por sua vez, são subdivididos em micromedidores e macromedidores. Os macros, segundo Vicentini (2012), podem ser temporários ou fixos e medem as vazões, pressões e nível de reservatórios em todos os pontos do sistema de abastecimento até o ponto anterior ao ponto de entrada para o consumidor (ramal predial). A partir desse ponto, o volume consumido é medido pelos micromedidores e é no valor dado por ele que a companhia irá se basear para calcular a conta a ser paga.

A boa gestão comercial significa que a companhia deve se atentar principalmente para os cadastros de novas ligações, as ligações clandestinas e ao desligamento ou inatividade de outras. Erros que costumam ocorrer nesse quesito são a ativação de uma ligação sem o devido cadastramento (ou levando tempo até ser computado no sistema) ou sem informações do tipo de consumo. Além disso, ligações clandestinas ou fraudes nos micromedidores também costumam ocorrer e só serão identificados se houver um trabalho constante de pesquisa de consumo e de vistorias em campo por parte das equipes de gestão. (TARDELLI FILHO, 2006).

2.2.3 Controle, gerenciamento e redução

Como já visto anteriormente, para se evitar, gerenciar e controlar os grandes volumes de perdas, deve-se fazer um acompanhamento contínuo de toda a rede e uma das alternativas já apresentadas é a utilização do balanço hídrico. Através do balanço, determina-se os volumes de entrada e os volumes das perdas aparentes e reais para depois traçar o melhor plano de ação e escolher as melhores alternativas

para o combate.

A primeira etapa, entretanto, deve ser o diagnóstico da rede, determinando e medindo todos os volumes das fases do sistema. Para isso, é necessário fazer a setorização da rede. Essa compartimentação é definida, normalmente, através de três características principais: zoneamento por localização/proximidade com os reservatórios ou com pontos de entrega da água, zoneamento piezométrico (zonas de pressão iguais) ou quando houver *boosters* ou válvulas redutoras de pressão (VPR). (TARDELLI FILHO, 2006).

Não há estipulado um tamanho máximo para cada zona, porém, recomenda-se que em setores com *boosters* a rede tenha até 3000 ligações e nas com VPR 2000 ligações ou comprimento de rede de 20km. (TARDELLI FILHO, 2006). É fundamental, no entanto, que todas as zonas possuam áreas delimitadas e quanto menores, melhor será a apuração dos volumes, das causas e das consequências das perdas. Além disso, todos esses pequenos setores, conhecidos como distritos de medição e controle (DMC), devem possuir macromedidores na entrada da rede para que seja possível fazer a medição correta e acompanhar suas vazões e pressões. (ABES, 2015).

A partir disso, é possível fazer o balanço do que entrou (e passou nos macromedidores) e o que saiu da rede e foi para as economias (passando nos hidrômetros). Caso note-se alguma anormalidade (volume de entrada maior que o volume de saída), é possível determinar em qual zona está o vazamento e, dessa forma, facilitar a procura do mesmo. (SOUZA JÚNIOR, 2014).

Outro ponto que deve ser considerado no controle das perdas e está ligado à setorização do sistema é a pressão existente na rede. A ABNT NBR 12218/2017 “Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento” normatiza que a pressão estática máxima que pode ser usada na rede deverá ser de 400 kPa, ou 500 kPa em terrenos acidentados, e que para valores superiores a esses devem possuir justificativas técnicas ou econômicas.

Entretanto, após algumas pesquisas, a SABESP verificou que em trechos com pressões acima de 600 kPa havia 40% a mais de perdas do que nas regiões com pressões dentro do limite normativo. (TOMAZ, 2011). Logo, verifica-se a necessidade do controle da pressão e do uso das VPR a fim de minimizar as perdas ocorridas por vazamentos, como visto no item 2.2.1.1.

Para controlar e fazer comparações dos dados dentro do próprio sistema ou

com outras companhias, utiliza-se alguns indicadores de desempenho que serão vistos a seguir.

2.2.3.1 Indicadores de perdas

Indicadores de desempenho são instrumentos que ajudam a monitorar a eficiência e a eficácia de um sistema ou de um serviço. (ALEGRE *et al.*, 2004). Nesse contexto, os indicadores de perdas são utilizados, segundo Miranda (2006), para detectar fugas ou usos excessivos da água, gerenciar a demanda, planejar e adotar ações de combate e controle de perdas dentro do sistema de abastecimento.

Os indicadores também podem ser utilizados para comparação de desempenho com outros sistemas. Todavia, é necessário que haja padronização dos indicadores e que as condições de funcionamento dos sistemas sejam similares. (MIRANDA, 2006). A fim de tecer comparativos mundiais, a IWA elaborou alguns indicadores de perdas para tentar fazer essa padronização, porém, ainda há muitos tipos de indicadores diferentes utilizados pelas companhias.

Em sua tese, Miranda (2002) pesquisou e analisou os tipos de indicadores de perdas e encontrou 37 versões de indicadores diferentes que possuíam 44 tipos de dados para serem analisados. Esses indicadores são provenientes de entidades e programas, como a UK Water Industry, a IWA, o SNIS, a *Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux* (AGHTM), a Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (AESBE), a Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEMAE) e o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA).

Sabendo da vasta variedade de indicadores, Miranda (2002) resumiu, compatibilizou e recomendou o uso de alguns. Aqui será apresentado apenas dois tipos de indicadores analisados por Miranda, um em nível básico e outro em nível avançado de comparação e detalhamento.

2.2.3.1.1 Indicador Percentual (IP)

Segundo Melato (2010), é o mais utilizado, porém, é considerado um nível básico de comparação. Além disso, possui muitas limitações e não deve ser usado para fazer comparações entre sistemas diferentes. Também é conhecido como IPD

(índice de perda na distribuição).

$$IP (\%) = \frac{\text{Volume de Perdas Total}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Isso ocorre, de acordo com Miranda (2006), porque em sistemas que tiverem os mesmos valores de perdas, porém, diferentes volumes fornecidos/consumidos, o percentual será diferente. Ou seja, se as perdas forem as mesmas, mas o consumo maior, a porcentagem será menor.

Dessa maneira, esse indicador deve ser utilizado para monitorar a eficiência do próprio sistema, quando o mesmo não tiver modificações referentes ao volume de consumo. A seguir, há alguns valores utilizados para classificar os sistemas utilizando o percentual encontrado com esse indicador.

Tabela 2 - Índice Percentuais de Perdas

Índice	Classificação
<25%	Bom
Entre 25% e 40%	Regular
>40%	Ruim

Fonte: Tardelli Filho (2006, p. 465).

2.2.3.1.2 Indicador de Vazamentos da Infraestrutura (IVIN)

Indicador mais completo e que permite a comparação entre sistemas distintos. É um valor adimensional que consiste na relação entre o volume de perdas reais de água (VPRE) e o volume de perdas reais inevitáveis (VPRI). (LAMBERT *et al.* apud MIRANDA, 2006). Considera que não há sistema perfeito e para a formulação da equação considerou as perdas inerentes, a pressão média de operação, a extensão dos ramais, a quantidade de ligações e os rompimentos comunicados e não comunicados. Dessa forma, a equação formada ficou:

$$IVIN = \frac{VPRE}{VPRI} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo,

$$VPRI = [(18 \times QEPR) + (0,8 \times QLAT) + (25 \times QERA)] \times \frac{QPME}{1000} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

QEPR = Extensão da rede de água;

QLAT = Quantidades de ligações ativas de água;

QERA = Extensão do ramal predial interno;

QPME = Pressão média de operação da rede.

Segundo Miranda (2006), quanto mais próximo de 1 o IVIN for, melhor o gerenciamento da infraestrutura, significando um serviço de boa qualidade. Quanto mais longe, pior são as condições do sistema. Um índice alto, acima de 10, significa uma infraestrutura deficiente e precária. (LAMBERT apud TOMAZ, 2011).

2.2.3.2 Controle de Perdas Reais

Segundo a ABES (2015), a IWA propôs quatro ações que devem ser aplicadas para a redução e o controle das perdas reais. Ao se aplicar esse conjunto de medidas, reduz-se o nível existente de perdas para um nível de perdas reais inevitáveis, onde o nível econômico já foi extrapolado e não se torna mais economicamente vantajoso investir na redução das perdas. As ações estão descritas e explicadas a seguir, conforme Tardelli Filho (2006) e Thornton (apud ABES, 2015):

- a) Controle ativo e detecção de vazamentos: são os programas e campanhas de identificação e reparo dos vazamentos não visíveis. Requer planejamento, ações preventivas (identificação e reparo antes do afloramento do vazamento) e continuidade dessas ações. Normalmente, utiliza-se equipamentos como geofones, hastes de escuta, correlacionador de ruídos, entre outros, para identificar os locais onde há as perdas e poder se fazer o reparo.
- b) Gerenciamento de pressão e de nível de reservatório: refere-se ao controle das pressões existentes na rede, adotando aparelhos para aumentar (*boosters*) ou diminuir (VRP) as pressões a fim de alcançar os

valores necessários para a correta operação do sistema. Além disso, refere-se ao controle contínuo do nível dos reservatórios para evitar transbordamento.

- c) Agilidade e qualidade dos reparos: é a diminuição do tempo entre o conhecimento do vazamento visível e não-visível (devido às ações de controle e detecção - item "a") e o efetivo conserto do mesmo. A qualidade do reparo é fundamental, pois se não for bem executada podem voltar a aparecer. Estudos mostram também que há concentrações de vazamentos. No Canadá, observou-se que 46% dos vazamentos apareceram a menos de 20m de outro já consertado e que desses 42% apareceram a apenas um metro de distância, logo no dia seguinte. (TOMAZ, 2011).
- d) Manejo e melhoria da infraestrutura: refere-se as ações de substituição, reforço ou reabilitação das tubulações ou dos reservatórios quando apresentarem sinais de deterioração. É a atividade mais cara, porém, a mais importante para o controle e redução das perdas.

Para quantificar o volume de perdas reais existentes no sistema é sugerido utilizar o método das vazões mínimas noturnas. (MIRANDA, 2006). Esse método deve ser aplicado com certa periodicidade e consiste em medir a vazão mínima consumida durante a noite/madrugada, normalmente entre às 01h e 05h, em uma das zonas do sistema. (GOMES, 2011). Durante esse período, a variação de consumo é pouco significativa, visto que os reservatórios já estão cheios e o consumo por parte da população costuma ser mínimo.

Logo, as variações que acontecerem (aumento significativo no consumo) pode significar que algum vazamento está ocorrendo. Segundo Miranda (2006), há casos, entretanto, em que não se consegue usar esse método, visto que ocorre a intermitência do abastecimento e alguns locais acabam por receber a água no período noturno (as caixas d'água são abastecidas durante a noite), não havendo a diminuição do consumo nesses horários.

2.2.3.3 Controle de Perdas Aparentes

Assim como ocorre com as perdas reais, a IWA também propõe medidas essenciais para o controle das perdas aparentes. Nesse caso, também há um limite

do nível de redução que, quando atingido, não trará mais benefícios econômicos para a companhia, ou seja, após aplicada todas as ações demandadas restará apenas as perdas aparentes inevitáveis. Tardelli Filho (2006) e SABESP (apud ABES, 2015) apresentam algumas explicações a respeito dessas medidas:

- a) Redução de erro de medidores: refere-se à instalação e especificação correta, além da calibração frequente dos medidores. Os erros e as perdas costumam ocorrer porque os medidores são instalados inclinados ou porque possuem uma vazão maior do que a presente na maior parte do tempo no sistema de abastecimento;
- b) Redução de fraudes/consumos não autorizados: são os programas e iniciativas que a companhia deve tomar para inspecionar locais suspeitos de ligações irregulares e, também, para coibir tais ações ilícitas;
- c) Melhorias no sistema de coleta de dados: são as ações de otimização e desenvolvimento do cadastro do sistema de gestão comercial da companhia. Para isso, deve-se realizar os cadastros de novas ligações e a apuração dos consumos imediatamente após o pedido do cliente, como também atualizar as tecnologias empregadas a fim de evitar falhas do sistema;
- d) Redução de estimativas e melhoria no treinamento dos profissionais: refere-se às atividades de capacitação dos profissionais envolvidos na leitura dos hidrômetros e no cadastro dos clientes, visto que eles devem estar bem treinados para perceber possíveis fraudes e problemas na ligação. Remete também ao cadastro e a obrigatoriedade do uso de hidrômetros em todas as ligações a fim de diminuir as estimativas de consumo.

2.2.3.4 Dispositivos e Equipamentos para Identificação e Controle das Perdas

Tardelli Filho (2006) classifica o controle das perdas em dois tipos: controle ativo e controle passivo. O controle ativo são as medidas prévias e o acompanhamento da rede para evitar as perdas iniciais, como explicado no item 2.2.3. Já o controle passivo são as ações que devem ser tomadas quando já há o vazamento. Logo, para que haja um bom controle, uma identificação precisa e um

reparo rápido com uma boa relação custo benefício, é necessário alguns equipamentos e maquinários para auxiliar as companhias de saneamento.

2.2.3.4.1 Macromedidores

Como já visto em itens anteriores, os macromedidores servem para medir a vazão captada, aduzida e distribuída no sistema, bem como as pressões e níveis de água nos mesmos. Devem ser implantados em vários pontos da rede, incluindo o trecho logo após a captação, antes e após o tratamento e na entrada de cada setor/zona de pressão.

Conforme Tardelli Filho (2006), a fim de se realizar um monitoramento adequado do sistema, deve-se realizar as medições periodicamente, definindo-se um intervalo e hora exatos para captação das leituras. Além disso, deve-se fazer um levantamento da área (realizar ensaios de campo), avaliar o tipo de consumo e vazões existentes, dimensionar e instalar corretamente o macromedidor e, por fim, cadastrá-lo. Dessa maneira, será possível processar os dados obtidos com precisão e analisar as possíveis variações decorrentes das perdas.

Existem diferentes tipos de macromedidores que podem ser utilizados de acordo com as necessidades e o nível de precisão que o operador deseja. De acordo com Kuroda e Pádua (2006), para se escolher um medidor de vazão, deve-se levar em conta fatores como o tipo de fluido, a pressão disponível, a condição de escoamento, a vida útil e o custo de implantação e manutenção, a precisão desejada, as dimensões, entre outros.

Conforme Kuroda e Pádua (2006), o Quadro 3 categoriza os macromedidores em cinco tipos, sendo eles medidores de pressão diferencial, de deslocamento positivo, tipo turbina, eletromagnéticos e ultrassônicos. Os últimos, mais modernos e tecnológicos, são os mais precisos e não possuem nenhum tipo de obstrução ao escoamento em seu interior, logo, diferente dos outros três equipamentos, não possuem perda de carga localizada, fornecendo um resultado mais confiável. Para canais abertos, há ainda os vertedores e os medidores de regime crítico (ex. calha Parshall), calculados a partir da altura da lâmina d'água passante por eles.

Quadro 3 - Informações sobre os tipos de macromedidores

Tipo		Utilização	Perda de Pressão	Precisão Aproximada (%)	Comprimento prévio n°. diâmetros	Sensibilidade a viscosidade	Custo relativo
Venturi	De pressão diferencial	Líquidos comuns pouca suspensão	Baixa	± 1 da escala	5 a 20	Alta	Médio
Placa de orifício		Líquidos comuns pouca suspensão	Média	$\pm 2/\pm 4$ da escala	10 a 30	Alta	Baixo
Bocal		Líquidos comuns	Média	$\pm 1/\pm 2$ da escala	10 a 30	Alta	Médio
Joelho		Líquidos comuns	Baixa	$\pm 5/\pm 10$ da escala	30	Baixa	Baixo
Tubo de Pitot		Líquidos sem impurezas	Muito Baixa	$\pm 3/\pm 5$ da escala	20 a 30	Baixa	Baixo
Rotatômetro		Líquidos comuns	Média	$\pm 1/\pm 10$ da escala	Nenhum	Média	Baixo
Deslocamento Positivo		Líquidos viscosos sem suspensão	Alta	$\pm 0,5$ da proporção	Não há	Baixa	Médio
Turbina		Líquidos comuns pouca suspensão	Alta	$\pm 0,25$ da proporção	5 a 10	Alta	Alto
Eletromagnético		Líquidos condutivos com suspensões	Não há	$\pm 0,5$ da proporção	5	Não há	Alto
Ultrassônico		Líquidos viscosos com suspensão	Não há	± 5 da escala	5 a 30	Não há	Alto

Fonte: Adaptado de Kuroda e Pádua (2006, p. 725).

De acordo com Novaes e Bressani ([2009?]), os macromedidores mais utilizados atualmente são os eletromagnéticos. Estes são acoplados no exterior do tubo e criam um campo magnético nele. Desta forma, através da Lei de Faraday, é possível determinar a força eletromotriz passante que, por sua vez, é diretamente proporcional a velocidade de escoamento. (MADEIRA, 2016). Sabendo-se que a vazão é dada pela multiplicação entre a área da seção e a velocidade, obtém-se o resultado desejado.

Um dos mais antigos métodos de medição, porém, um dos mais utilizados ainda, é a Pitometria (tubo de Pitot). Após alguns avanços tecnológicos, o mesmo tornou-se automatizado, porém, seu princípio continua igual. Consiste em duas tomadas de pressão inseridas na tubulação, de forma que uma meça a pressão dinâmica e estática (total) e a outra somente a estática. A partir disso, é verificada a diferença entre as pressões (pressão dinâmica) e com a equação de Bernoulli é determinada a velocidade do fluxo de água. (NOVAES; BRESSANI, [2009?]; COLANTONIO, 2007). Assim, como visto no parágrafo anterior, tendo-se a velocidade e a área da seção, é possível obter a vazão.

Segundo Colantonio (2007), deve-se atentar ao fato de a Pitometria medir a velocidade somente em um ponto (onde está a tomada de água). Logo, deve-se colocar o mesmo no ponto onde se encontra a velocidade média do fluxo ou então realizar diversas aferições em pontos distintos, a fim de se calcular a velocidade média. Como visto no Quadro 3, o tubo Pitot não é tão preciso quanto um medidor eletromagnético (principalmente se houver impurezas na água) e, além disso, a perda de carga localizada é maior em tubos Pitot, uma vez que é necessário inserir uma “obstrução” dentro da tubulação.

2.2.3.4.2 Micromedidores

Os micromedidores, ou hidrômetros, são os equipamentos utilizados na entrada do ramal predial que tem como objetivo medir a quantidade de água que entra na edificação. Em alguns casos, quando há mais de uma moradia na mesma edificação, são colocados outros micromedidores para cada economia e assim separar as quantidades consumidas por cada um. Essa prática é mais recomendável, pois tem-se um maior controle do consumo de água (e conseqüentemente das perdas também). (TSUTIYA, 2006).

Os hidrômetros podem ser classificados de acordo com alguns critérios, como o tipo de relojoaria (disposição dos mecanismos), o tipo de sistema de transmissão ou segundo o funcionamento da câmara de medição. O mais importante, e que será abordado em seguida, é o de funcionamento da câmara de medição. Esse, por sua vez, divide os micromedidores em hidrômetros volumétricos, velocimétricos e ultrassônicos (esse último, apesar de mais eficiente e moderno, é ainda muito pouco utilizado e por isso não será detalhado neste trabalho). (SHINTATE; REGO; GONDO, 2006).

Segundo Shintate, Rego e Gondo (2006), nos volumétricos, quando a água passa em seu interior, um processo de enchimento e esvaziamento ocorre na sua câmara de volume e um mecanismo converte esse movimento em volume total, já que o volume da câmara já está determinado. Esse tipo de hidrômetro é mais propenso a apresentar defeitos caso haja partículas suspensas na água, porém, apresenta erros menores, pois são mais sensíveis a pressões baixas. Logo, são mais indicados quando se quer evitar desperdícios provenientes de erros de medição.

Já os hidrômetros de velocidade determinam o volume escoado por ele de acordo com a velocidade e o número de rotações que a turbina (rotor com pás), ou hélice, de seu mecanismo faz. Apesar de serem menos precisos quando há baixas vazões, são os mais utilizados no Brasil devido às características de nossas águas que, com suas partículas suspensas, causam defeitos e paralisações nos hidrômetros volumétricos. (SHINTATE; REGO; GONDO, 2006).

Para se determinar qual o tipo de micromedidor deve ser empregado na edificação, é necessário levar em conta as condições a que ele será submetido e alguns critérios como qualidade da água, temperatura e pressão da mesma, instalação e as vazões de consumo. Com relação à qualidade, temperatura e pressão, deve-se atentar somente se a água está dentro dos limites de potabilidade e se a pressão e a temperatura estão abaixo de 200 m.c.a e 40°C. (SHINTATE; REGO; GONDO, 2006).

A instalação dos hidrômetros requer alguns cuidados e precauções para evitar danos ao aparelho ou erro de leitura. Sendo assim, deve ser instalado horizontalmente, sem inclinações laterais e na posição correta (verificar a seta indicativa de fluxo de água), em um local da tubulação que não retenham ar permanentemente e que possua trechos retos a montante e a jusante do medidor

(comprimentos recomendados pelos fabricantes) e em um abrigo acessível (fácil leitura e manutenção), protegido de raios solares, inundações ou outro tipo de dano. (SAMAE - Caxias do Sul, [2019?]).

Os hidrômetros possuem idade limites, em média 5 a 10 anos ou entre 3500 e 7000 horas sob vazão permanente. Logo, precisam estar em um local adequado para poder ser feita a avaliação, a manutenção e a troca do mesmo. Contudo, o critério mais importante para a escolha do micromedidor é a determinação da vazão nominal e vazão máxima do mesmo. Pode-se realizar esse dimensionamento através da vazão estimada de entrada ou em função da categoria de consumo ou, ainda, por levantamento direto do perfil consumidor. Utilizar um hidrômetro sub ou superdimensionado causa erros de medição e, como já visto, elevação no número de perdas aparentes. (SHINTATE; REGO; GONDO, 2006).

Tarifa (apud NAKAMURA, [2019?]) ressalta que se um hidrômetro possuir uma vazão máxima superior à real, ele não irá efetuar a correta medição, pois irá possuir uma baixa relação entre o fluxo passante e a vazão nominal. Já se o mesmo estiver subdimensionado, pode haver a quebra do equipamento devido ao fluxo intenso não suportado pelo hidrômetro mal dimensionado. Hidrômetros podem ser classificados quanto a sua classe metrológica (A, B ou C), isto é, o grau de sensibilidade entre a vazão mínima e a de transmissão, sendo que os mais precisos recebem a classificação C. (SAMAE - Caxias do Sul, [2019?]).

2.2.3.4.3 Equipamentos de ruído

Existem alguns aparelhos que são utilizados para identificar o local onde estão ocorrendo as perdas não visíveis na rede. Após a identificação pelos operadores do sistema de que há vazamentos em algum setor específico (verifica-se isto através das variações encontradas com os macromedidores nos distritos de medição e controle), pode-se utilizar alguns aparelhos que, com a vibração causada pela água vazando, escutam e detectam esses locais. Abaixo, relaciona-se e explica-se alguns desses equipamentos:

- a) Geofones: podem ser eletrônicos ou mecânicos. Os eletrônicos são compostos por sensor, amplificador, fones de ouvido e filtros de ruído (os mecânicos não possuem esses filtros). A partir da superfície do solo, detectam a intensidade dos ruídos dos vazamentos, ou seja, no local onde

tiver mais intensidade significa que o vazamento está abaixo daquele ponto. (TARDELLI FILHO, 2006). De acordo com o site da fabricante GLDS, alguns modelos de geofones podem identificar vazamentos localizados em até 15m de profundidade.

- b) Haste de escuta: capta os ruídos através de um amplificador eletrônico ou mecânico acoplado em uma barra metálica. A haste deve ser aproximada de algum acessório, ramal, cavalete ou registro para conseguir identificar a região do vazamento. (TARDELLI FILHO, 2006). Logo, a mesma não identifica o local exato, apenas aproximado, do vazamento, para tal deve ser usado o geofone.
- c) Correlacionador de ruídos: composto por uma unidade processadora, dois sensores de contato e pré-amplificadores que, quando instalados entre dois pontos da canalização, detectam se há algum vazamento entre eles. Antes do início da operação, deve-se inserir dados, como diâmetro e material da tubulação, e medir a distância entre os dois sensores para que a unidade processadora possa estipular, através da velocidade de propagação dos ruídos, a localização exata do vazamento. (TARDELLI FILHO, 2006; SONDEQ, [2019a?]).

2.2.3.4.4 Sistemas de telemetria e softwares de gerenciamento

Há atualmente no mercado algumas tecnologias que podem ser utilizadas para diminuir e controlar as perdas tanto aparentes quanto as perdas reais. Essas ferramentas ajudam a melhorar a coleta de dados dos consumidores, o comportamento do medidor instalado, como também a identificar diferenças de pressão e vazão na rede e, em alguns casos, a controlar características de qualidade da água (cloro e turbidez). (TSUTIYA, 2006).

Como já visto anteriormente, os hidrômetros são equipamentos usados para medir a quantidade de água que adentra na edificação. Entretanto, quando essa medição é realizada manualmente, é verificada pela companhia somente uma vez ao mês, sendo que em alguns locais é realizada mais esporadicamente ainda, podendo ser verificada uma vez a cada trimestre, semestre ou anualmente (nesses casos, as cobranças mensais são realizadas com base nas médias dos meses medidos). O resultado, porém, dessa medição inconstante é a cobrança de valores

acima ou abaixo do real (perdas aparentes). (LOUREIRO; ÁLVARES; COELHO, 2007).

Para combater esse tipo de problema, usa-se o sistema de telemetria. Esse consiste em medidores equipados com *dataloggers*, que podem já vir internamente no medidor (hidrômetros mais modernos) ou ser acoplado nos mesmos. *Datalogger* é um sistema de armazenamento de informações que permite coletar os dados que são medidos durante as horas, os dias, as semanas ou qualquer outro período estipulado pela companhia de saneamento. Após essa coleta de dados, é necessário enviá-los para a central remota de processamento de dados. (LOUREIRO; ÁLVARES; COELHO, 2007).

O envio pode ser realizado de três diferentes maneiras. A primeira e a segunda formas são muito similares e consistem em utilizar um equipamento concentrador/captor que recebe todos os dados dos medidores e descarrega na central. A diferença é que, no mecanismo mais simples, deve-se plugar um cabo entre o concentrador e o medidor para ocorrer a transferência dos dados, já no outro, mais avançado, usa-se, segundo Rozas (apud TAMAKI; SILVA; GONÇALVES, 2005), radiofrequência, sinal de satélite, sinal de telefonia fixa ou móvel, entre outros tipos de tecnologias de comunicação remota.

Conforme Loureiro, Álvares e Coelho (2007), a comunicação remota pode sofrer interferências de outros aparelhos ou obstáculos. Entretanto, é mais eficiente que o concentrador por cabo, pois consegue abranger uma área maior e captar as informações de mais de um medidor sem precisar se mover ou ser reinstalado em outro ponto. Depois de recolhido os dados, deve-se transmitir os dados acumulados no concentrador para a central de controle.

A terceira maneira de envio é aquela em que o próprio *datalogger* transmite os dados via internet, radiofrequência ou satélite direto para a unidade de processamento de dados. Não há necessidade de deslocamento de recursos humanos para fazer a coleta, pois o sistema é todo automatizado e, dessa forma elimina possíveis erros associados ao trabalho manual. (LOUREIRO; ÁLVARES; COELHO, 2007).

Além disso, alguns sistemas mais modernos são providos de sensores espalhados pela rede de distribuição. Com isso, além de medir a vazão passante no medidor, pode-se verificar a vazão em outros pontos da rede, bem como outras

variáveis, tais quais a pressão nos pontos dos sensores, os níveis dos reservatórios ou características da qualidade da água. (TSUTIYA, 2006).

Por fim, como visto, os dados coletados são direcionados para a central de processamento de dados. Essa central normalmente se encontra dentro da própria companhia de saneamento e está equipada com diversos monitores e computadores dotados de softwares específicos para compilar as informações captadas, analisar e gerar relatórios e gráficos informando anomalias no sistema. À medida que os dados são registrados e computados, já se sabe se há algum tipo de perda na rede ou o perfil atualizado do usuário e seu gasto diário. Dessa maneira, pode-se traçar estratégias para melhorar o abastecimento e os serviços prestados pela companhia. (TAKADU, [2019a?]).

2.2.3.4.5 Pipe Bursting

Pipe Bursting é o nome de uma técnica desenvolvida na Inglaterra nos anos 1980 de substituição das tubulações subterrâneas de uma maneira menos destrutiva. Antes de iniciar a sua utilização é necessário isolar a rede de seus ramais secundários. Além disso, deve-se saber o tipo de material da rede que será substituído, o nível de degradação e os locais onde já foram realizados reparos prévios. Deve-se saber também se há envelopamento da rede e qual a distância até outras tubulações. (DEQUECH, 2014).

Existem dois diferentes tipos de funcionamento: o Pipe Bursting dinâmico e o estático. No dinâmico, um cabo com guincho auxiliar atravessa a tubulação previamente para guiar e controlar a força de ataque. Em seguida, a ferramenta de penetração do solo (corte e quebra) conectada a um compressor de ar, entra movendo-se, “golpeando” e fragmentando a antiga tubulação. Acoplado no final da ferramenta de corte está a nova tubulação, logo, à medida que a antiga tubulação é destruída e estilhaçada um novo tubo já é recolocado. (DEQUECH, 2014; MTS PERFORATOR, 2016).

Já no método estático, hastes são inseridas dentro da antiga tubulação até atravessar a mesma. Na ponta de saída, assim como no Pipe Bursting dinâmico, é conectada a nova tubulação. Já na extremidade oposta é colocada a ferramenta de corte e quebra e um equipamento hidráulico de alta capacidade que irá tracionar as hastes e puxar as mesmas. O equipamento hidráulico irá puxar o tubo antigo e,

simultaneamente, a ferramenta de quebra irá destruir o tubo antigo em uma ponta, enquanto na outra a tubulação nova será colocada e encaixada. (DEQUECH, 2014; MTS PERFORATOR, 2016).

A grande diferença entre os dois métodos é que no Pipe Bursting estático a tubulação antiga vai sendo retirada e quebrada fora do solo, já no método dinâmico a destruição é realizada embaixo da terra e os fragmentos permanecem ali. Devido a suas características, o Pipe Bursting pode ser aplicado para consertar trechos de redes que estejam com vazamentos. Após a análise inicial, com os métodos apresentados anteriormente, detectando-se os locais exatos das perdas, pode-se utilizar essa técnica para realizar a troca da tubulação se assim for necessário.

3 METODOLOGIA

3.1 EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS PARA DIMINUIÇÃO DAS PERDAS

Após as pesquisas bibliográficas preliminares, onde encontrou-se procedimentos, equipamentos e alternativas para o controle das perdas de água na rede de distribuição, pretendia-se fazer uma comparação entre alguns dos métodos apresentados no item 2.2.3.4 e verificar qual ou quais possuem o melhor custo comparado aos benefícios e efetividade apresentados. Contudo, considerando a dificuldade em conseguir informações referentes a valores e ponderando que alguns métodos são muito distintos entre si, alguns avaliando perdas reais e outros perdas aparentes, decidiu-se por apresentar mais detalhadamente quatro métodos, sendo dois equipamentos de ruído (e portanto, a comparação de efetividade e custo foi possível neste caso), um tipo de micro medidor e um software de gerenciamento.

A partir de mais pesquisas bibliográficas e documentais, foi possível apresentar as principais características de cada, com informações de operação e, em alguns casos, de custo e de manutenção. Verificou-se quais desses dispositivos são mais utilizados, os motivos de serem os mais empregados, como ocorre o funcionamento deles e em alguns casos os valores de referência, traçando, assim, um pequeno comparativo entre eles. Também apresentou-se alguns locais e estudos onde esses equipamentos foram utilizados e os benefícios e retornos que trouxeram para a companhia e para os consumidores.

Junto a isso, apresentou-se as tecnologias mais novas e as que já se encontram em operação no Brasil. Porém, percebendo-se o receio do país em investir em questões de saneamento e, principalmente, no controle e redução das perdas, pesquisou-se em artigos e manuais de fabricantes estudos locais e casos de cidades estrangeiras que obtiveram sucesso na implantação e, principalmente, grande retorno financeiro e ambiental com a aplicação das tecnologias.

3.2 ESTUDOS DE CASO

Em seguida, introduziu-se casos de cidades brasileiras onde alguns dispositivos foram empregados ou estão em tentativas de empregar e que apresentaram um resultado positivo na redução das perdas. Sendo assim, optou-se

por apresentar os números alcançados e ações realizadas pelo Departamento Municipal de Águas e Esgoto (DMAE) de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, e pela empresa responsável pela rede de saneamento da cidade de Limeira, interior do estado de São Paulo.

3.2.1 Caso Limeira, SP

Escolheu-se Limeira, pois de acordo com os últimos relatórios do Instituto Trata Brasil (com dados do SNIS 2016 e 2017), ela possui um dos menores índices de perdas do país, com valores similares a cidades de países desenvolvidos (ver Tabelas 3 e 4). Nos últimos anos, vem se mantendo no topo do ranking entre as mais eficientes e acredita-se que esteja em processo contínuo de melhoramento e aperfeiçoamento a fim de continuar reduzindo, ou mantendo, o baixo número de perdas reais e aparentes.

Tabela 3 - Índice de Perdas na Distribuição (IPD) e Índice de Perdas no Faturamento Total (IPFT) - Referência SNIS 2017

Município	IPD (%)	IPFT (%)
Santos	14,32	15,89
Limeira	18,62	12,92
Campinas	20,91	12,97

Fonte: Instituto Trata Brasil (2019a, p. 60).

Tabela 4 - Índice de Perdas na Distribuição (IPD) e Índice de Perdas no Faturamento Total (IPFT) - Referência SNIS 2016

Município	IPD (%)	IPFT (%)
Limeira	15,57	10,89
Santos	17,25	18,73

Fonte: Instituto Trata Brasil (2018, p. 61).

Inicialmente, quando escolhida esta cidade, imaginava-se que seria menos burocrático (e, portanto, mais fácil) conseguir as informações necessárias, visto que é uma companhia privada. Contudo, todos os dados referentes a cidade de Limeira precisaram ser coletados através de pesquisas bibliográficas, uma vez que após

algumas tentativas de contato não se conseguiu retorno da empresa de saneamento.

Dados como os percentuais de perdas, os dispositivos eletrônicos utilizados na cidade e as ações para gestão e controle da rede serão divulgados no decorrer deste estudo de caso. Os mesmos foram retirados do portal SNIS (2019b), do portal Aquasfera ([2018?]) - iniciativa criada a partir do Compromisso Empresarial Brasileiro para a Segurança Hídrica -, e do artigo “Privatização do Saneamento Básico no Brasil: um estudo de caso da cidade de Limeira – SP” de Felipe Baldin Santana (2015). Dessa maneira, grande parte dos resultados encontrados são de anos anteriores (até 2017), mas acredita-se que não houve muitos prejuízos na análise dos mesmos.

3.2.2 Caso Porto Alegre, RS

Optou-se por escolher o DMAE de Porto Alegre, pois de acordo com a reportagem “Inovação e tecnologia ajudam a aprimorar o saneamento básico”, do Portal G1 (2018), essa companhia implantou em 2016 um novo sistema de gerenciamento de parte da rede utilizando IoT (Internet das coisas, em português) e com isso já conseguiu uma redução das perdas de 35m³ por mês em cada cliente. Dessa forma, pretendia-se entender os detalhes do que cada uma dessas companhias fez e vem fazendo para reduzir as perdas e quais os impactos financeiros e ambientais resultantes.

Através das plataformas de contato da prefeitura municipal de Porto Alegre, foi possível entrar em contato direto com o engenheiro do DMAE, Ronald Schütz. A partir disso, foi realizada uma visita em um dos prédios do departamento, onde funciona o Programa de Redução das Perdas. No local, foi realizada uma entrevista com Ronald e pesquisado informações, como: quais os métodos utilizados, o custo de implantação dos mesmos, há quanto tempo estão sendo aplicados, quais outras ações estão previstas, qual a necessidade e o custo de manutenção, qual a redução estimada das perdas e, por fim, qual o retorno mensal de cada tecnologia. Nessa visita, soube-se que o sistema em IoT utilizado é empregado apenas em grandes consumidores da capital. De qualquer maneira, mais informações sobre ele foram colhidas na internet e foram apresentadas no mesmo estudo.

A seguir, estão listadas algumas perguntas que foram realizadas ao engenheiro do DMAE durante a visita e que ajudaram a embasar o texto do estudo de caso:

- 1) Quando iniciou o programa de redução de perdas?
- 2) Quais eram os percentuais (e m³) de perdas antes do programa, quais são os atuais e qual a meta para os próximos anos?
- 3) Quais eram as maiores causas das perdas (vazamento na distribuição, vazamento nos ramais prediais, extravasamento de reservatórios, erros de medição, “fraudes” na rede,...)? E qual é a maior atualmente?
- 4) Quais foram as medidas tomadas para reduzir, evitar ou reparar essas perdas (algum equipamento específico ou ações como zoneamento da rede, troca do material utilizado, etc)?
- 5) Qual o custo de implantação e de manutenção dessas medidas e dessas tecnologias (geofones ou correlacionadores foram utilizados)?
- 6) Quais medidas apresentaram maior eficácia e melhor custo-benefício?
- 7) Hoje o DMAE utiliza telemetria e softwares de gerenciamento e controle para controle das perdas. Quando essas tecnologias foram implantadas e quais impactos/benefícios trouxeram? Como elas funcionam atualmente (nº de funcionários, computadores, salas, necessárias para o funcionamento)? Algum caso interessante que queira exemplificar?
- 8) Nas pesquisas que fiz, os autores costumam citar que há um maior número de vazamentos nos ramais prediais (em relação aos vazamentos da rede), ou hidrômetros mal dimensionados/ou velhos/ou mal instalados. O DMAE tem alguma política de troca de hidrômetros, ou de reparos nos cavaletes? Qual tipo de hidrômetro utilizado nas edificações (se for classe B, já foi cogitado usar os classe C) ?
- 9) Atualmente, todo consumo é medido? Incluindo prefeitura, prédios públicos em geral, corpo de bombeiros, habitações sociais, ...?
- 10) Há alguma razão já identificada para, em 2015, os índices terem diminuído tanto? E porque em 2017 subiram ao maior patamar?

Após as pesquisas e apresentações dos “estudos de caso”, tentou-se, contudo, sugerir outras alternativas para cada cidade, caso verificado que as utilizadas não estavam apropriadas ou não estavam atingindo uma performance

adequada. Além disso, realizou-se algumas considerações utilizando-se os dados percentuais disponibilizados pelo SNIS das cidades estudadas e do país.

Como se pode observar, procurou-se realizar uma pesquisa de caráter exploratório, a fim de descobrir quais as melhores tecnologias (usando, para tal, pesquisas bibliográficas e estudos de caso nas cidades de Limeira e Porto Alegre), como também indicar a solução mais viável para diferentes situações (analisando quantitativamente e qualitativamente cada elemento para gerar um comparativo e indicar a melhor opção em diferentes ocasiões).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Visto que já foram identificados e descritos os principais e/ou mais modernos dispositivos utilizados para o controle, detecção e reparo das perdas reais e aparentes (item 2.2.3.4), serão apresentados, a seguir, mais informações referentes a efetividade e custos de alguns desses equipamentos. Em seguida, serão apresentadas as ações tomadas pela antiga empresa de saneamento da cidade de Limeira (SP) para diminuição das perdas, bem como os resultados alcançados nos primeiros anos de privatização da empresa. Além disso, será mostrado um panorama geral sobre a situação da companhia de saneamento da cidade de Porto Alegre (RS), ressaltando as ações já tomadas para o controle das perdas e quais as dificuldades que a empresa possui para dar continuidade ao programa de redução.

4.1 DELIMITANDO AS TECNOLOGIAS DE CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA

Anteriormente foram vistos, de forma mais abrangente, algumas tecnologias e equipamentos capazes de controlar, reduzir e reparar as perdas do sistema de abastecimento. Contudo, a seguir, serão mostradas algumas ferramentas específicas, escolhidas por serem as mais empregadas, as mais tecnológicas (e mais atuais) ou as que mais apresentam resultados positivos no combate as perdas.

O enfoque principal será o combate ou o controle das perdas reais (especificamente os vazamentos da rede de distribuição). Contudo, algumas das tecnologias apresentadas também são parte do controle das perdas aparentes, principalmente as causadas pelas falhas e falta de manutenção em hidrômetros.

Dessa maneira, optou-se por apresentar os seguintes equipamentos: geofone eletrônico e correlacionador de ruídos (usados no combate dos vazamentos já existentes), hidrômetros de classe C (utilizados para evitar perdas aparentes ou detectar perdas reais) e software tipo SCADA (empregado no monitoramento das redes a fim de controlar e verificar inúmeras variáveis, incluindo as perdas aparentes e reais).

4.1.1 Geofone Eletrônico

Os geofones eletrônicos, como já visto anteriormente, são equipamentos utilizados para detectar o local onde está ocorrendo o vazamento através do ruído gerado pela água externada. Por ser um aparelho portátil, pode ser transportado e utilizado em qualquer local da cidade e a qualquer hora do dia. Normalmente, os aparelhos são equipados com fones de ouvido estéreo com cobertura total do pavilhão auricular, sensor do solo, carregador ou pilhas e maleta para transporte. (SONDEQ, [2019b?]). Na figura a seguir (Figura 6), pode-se ter uma ideia do modo de operação do geofone.

Figura 6 - Detecção de vazamento utilizando geofone eletrônico



Fonte: SONDEQ ([2019b?]).

A fim de facilitar o trabalho do operador, os aparelhos mais robustos possuem filtros que eliminam ou diminuem drasticamente os ruídos externos indesejáveis, além de possuírem visor gráfico que indica a magnitude do ruído (e, em alguns casos, compara com as leituras feitas anteriormente). O custo de aquisição desse tipo de aparelho dependerá do modelo, mas geofones de primeira linha podem ser encontrados por valores que variam entre R\$ 15 mil e R\$ 60 mil e para começar a utilizá-lo não é necessário realizar nenhum tipo de instalação. Sugere-se, no entanto, que o trabalhador que o opere faça um curso de capacitação para o manejo e leitura correta das informações. Se manuseado corretamente, seu custo de manutenção é praticamente nulo. (SONDEQ, 2019c).

O uso do geofone, entretanto, deve ser acompanhado por uma análise preliminar dos macro e micromedidores, a fim de se delimitar a área onde o mesmo será utilizado. Caso contrário, o auscultador deverá percorrer um caminho muito extenso procurando pelo(s) vazamento(s), tornando seu trabalho inviável devido a lentidão da procura. Contudo, se houver em aproximadamente 1km de rede apenas um vazamento, o operador levará no máximo 1 hora para identificá-lo. Dessa forma os vazamentos podem ser encontrados e consertados no mesmo dia ou no máximo no dia seguinte, fazendo com que o volume de água perdida seja o mínimo possível.

4.1.2 Correlacionador de Ruídos

Esse equipamento possui o funcionamento similar ao geofone, visto que ambos utilizam da intensidade das ondas sonoras para identificar o local dos vazamentos. A grande diferença é a atuação do operador. Enquanto no primeiro caso, como visto acima, o funcionário da companhia deve deslocar o equipamento por toda extensão da rede a fim de descobrir o ponto onde está situado o problema, no correlacionador de ruídos o operador deve instalar os dois sensores em pontos da rede (pode ser em uma válvula, hidrômetro, ou outro local de fácil acesso e que não necessite de escavações), verificar a distância entre estes pontos, configurar o processador e esperar que o mesmo identifique e retorne o local onde se encontra o vazamento. (SEBAKMT, 2010; SANESOLUTI, [2019?]).

Alguns modelos de correlacionadores possuem o próprio hardware de processamento, outros, entretanto, possuem apenas o software que pode ser instalado em qualquer computador portátil. (SONDEQ, [2019a?]). Dessa maneira, o operador deve receber treinamento adequado para executar de forma correta todos os passos necessários no software e nos sensores para posteriormente fazer a leitura dos dados fornecidos pelo equipamento. Como já visto no item 2.2.3.4.3 (subitem “c”), para o correto funcionamento do dispositivo deve-se inserir dados como o diâmetro da tubulação da rede, o material dos tubos e a distância entre os dois sensores da rede. A figura a seguir mostra, de maneira simplificada, como funciona um correlacionador de ruídos.

Figura 7 - Correlacionador de ruídos utilizando notebook e 2 sensores com transmissão dos dados via rádio frequência.



Fonte: SEBAKMT (2010, p. 3).

Por se tratar de um equipamento mais automatizado, o vazamento é identificado mais rapidamente, porém, o tempo de instalação é mais demorado do que no geofone. Além disso, a máquina em contato com o tubo realiza grande parte do processamento, eles podem ser empregados em redes bem profundas, onde um geofone teria mais dificuldade em operar. (SONDEQ, 2019c). Assim como o geofone, o uso do correlacionador deve ser precedido de um acompanhamento com macro e micromedidores a fim de delimitar a área de atuação.

Segundo a SONDEQ (2019c), o custo desse tipo de dispositivo gira em torno de R\$ 120 mil, sendo composto pelos dois sensores com transmissão via rádio, um módulo receptor com visor (ou o software para instalação em notebook, mais uma antena USB para acoplar ao computador para realizar a transmissão) e uma maleta para transporte do equipamento. Não é necessário calibração ou manutenções constantes, porém, como a maior parte dos fabricantes são estrangeiros, a manutenção e suporte deles podem ser mais demoradas e/ou caras.

4.1.3 Hidrômetros Classe C

Como já explicado anteriormente, há no mercado alguns tipos de hidrômetros, sendo que, de acordo com Coelho (apud SILVA, 2014), os hidrômetros mais usuais

no Brasil são os do tipo velocimétricos de classe B. Esse tipo de hidrômetro pode ser considerado de média precisão, visto que, como pode ser visto na Tabela 5 a seguir, a medição da água começa a ser realizada quando a vazão mínima passante é superior a 2% da vazão nominal do aparelho, enquanto nos hidrômetros de classe C deve ser 1% e o classe A 4%. Isso quer dizer que quando uma residência utiliza um hidrômetro com vazão nominal de 2,5m³/h, por exemplo, a água só começará a ser contabilizada pelo aparelho quando a vazão dela superar 0,05m³/h.

Tabela 5 - Vazão mínima (m³/h) em cada classe e vazão nominal do hidrômetro

Classes Metrológicas	Vazão Nominal (m ³ /h)									
	0,6	0,8	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0
A	0,024	0,03	0,04	0,06	0,1	0,14	0,2	0,24	0,4	0,6
B	0,012	0,015	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,12	0,2	0,3
C	0,006	0,0075	0,01	0,015	0,025	0,035	0,05	0,06	0,1	0,15

Fonte: Adaptado de INMETRO (apud SILVA, 2014, p. 29).

Primeiramente, deve-se estar ciente de que o funcionamento dos hidrômetros é igual independente da classe, mudando somente se forem volumétricos, velocimétricos ou ultrassônicos. Além disso, como já visto, deve-se cuidar a instalação, para os mesmos não ficarem inclinados ou não reterem ar na tubulação, mas principalmente atentar-se para a idade limite de operação dos mesmos, pois eles perdem a capacidade de medição ao longo do tempo.

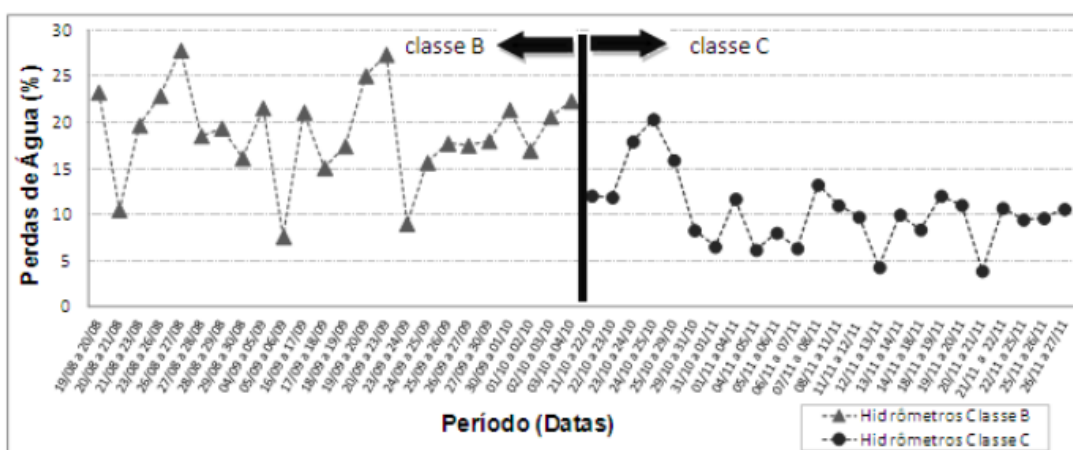
Apesar de não serem muito empregados no Brasil, será apresentado neste trabalho mais informações, dados e valores a respeito dos micromedidores classe C, visto que esses são mais sensíveis e apurados e evitam um maior número de perdas aparentes. Para exemplificar sua eficiência mostra-se, a seguir, alguns estudos comparativos entre os hidrômetros classe B e o classe C.

Uma pesquisa realizada em Uberlândia (MG), por Borges (apud SILVA, 2014), comparou os hidrômetros classe B e C em 25 residências e concluiu que os de classe B apresentavam uma medição inferior aos de classe C em aproximadamente 13,6%. As medições nesse estudo foram realizadas utilizando os hidrômetros em série (colocou-se o hidrômetro classe C ao lado do classe B no cavalete), contudo, não foi informado se o tempo de uso dos classe B foi considerado, visto que já estavam instalados nas moradias. (SILVA, 2014). Logo, não se pode afirmar com certeza se a diferença entre as classes é realmente dessa magnitude.

Entretanto, Silva (2014) realizou um estudo em um condomínio em Itabira (MG), onde havia 83 hidrômetros do tipo classe B, para verificar justamente a influência da classe metrológica e do tempo de uso dos micro medidores, bem como a viabilidade econômica para troca dos medidores B por C. No primeiro dia, instalou um macro medidor na tubulação de entrada do condomínio para averiguar a quantidade de água passante no mesmo. Em seguida, iniciou as medições com os hidrômetros classe B e após 24 leituras (uma a cada dois dias), todos os micromedidores foram trocados pelo de classe C. Dessa forma, prosseguiram as medições por mais 24 leituras.

Ao fim das medições, era calculado o percentual de perda total de água utilizando-se o volume macro medido e os volumes micro medidos em todos hidrômetros, conforme a equação 2, do item 2.2.3.1.1 (Indicador de Percentual). Dessa maneira, verificou-se que houve uma redução de 45% nas perdas referentes a submedição, visto que as médias das perdas de água para os hidrômetros classe B foi de 18,9% e para os de classe C foi de 10,4%. No Gráfico 2, a seguir, pode-se analisar os valores encontrados durante os dias de aferição.

Gráfico 2 - Porcentagem de perdas nas medições com hidrômetros classe B e C



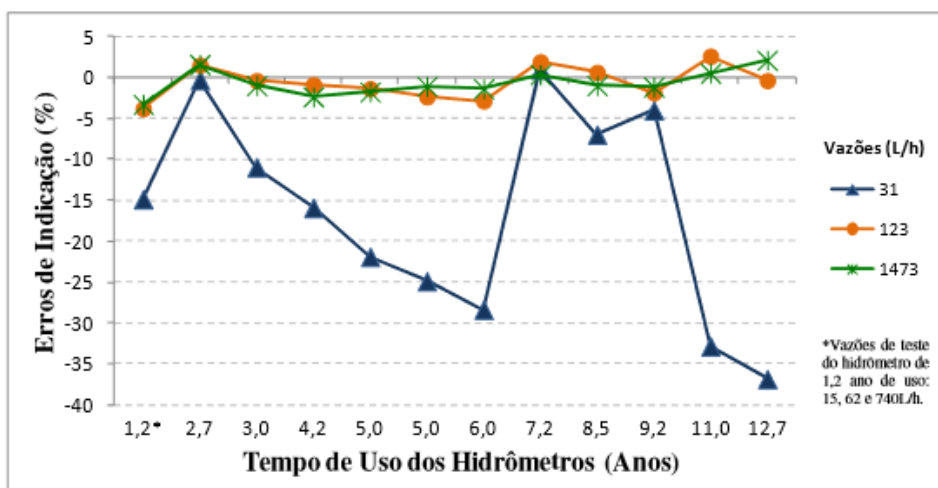
Fonte: Silva (2014, p. 59).

Assim como no estudo realizado por Borges, a pesquisa de Silva (2014) também possuía hidrômetros classe B já usados, com idades distintas das dos medidores classe C. Para tentar reverter esse problema, a pesquisadora separou os equipamentos em alguns grupos por proximidade de idade e depois encaminhou 12 equipamentos para testes e aferições no INMETRO. Nesses testes, foram inspecionados três tipos de vazões e fluxos de água, obtendo 36 resultados.

Desses, nove apresentaram erros de indicação positiva, ou seja, mediram vazões acima do valor real (resultando em danos aos consumidores), sendo que todos foram devido as vazões mínimas (corroborando com a ideia de que os medidores classe B não são tão precisos quando há pequenas vazões).

Além disso, outro fator que chamou a atenção foi a discrepância entre os valores encontrados para idades avançadas e idades ainda dentro do prazo. Foi observado que em algumas idades altas (7,2 ou 9,2 anos, por exemplo) os resultados ainda estavam dentro do limite de erro (5%), contudo, em hidrômetros de idades baixas (3, 4,2 ou 5 anos) os erros foram considerados altíssimos no teste de vazão mínima. O gráfico a seguir mostra os erros apresentados pelos hidrômetros em cada faixa de vazão analisada:

Gráfico 3 - Indicação de erros conforme idade e vazão dos hidrômetros



Fonte: Silva (2014, p. 59).

Apesar dos testes não terem indicado significativa alteração na medição de acordo com o tempo de uso dos hidrômetros, ou até mesmo mostrado o contrário em alguns casos, a autora não exclui essa possibilidade, visto que o número de hidrômetros testado foi pequeno, o que pode ter impedido essa comprovação, e também porque os micro medidores eram de fabricantes diferentes. Logo, não se tem como atestar o mesmo nível de qualidade em todos os maquinários.

Para fins de verificação da viabilidade econômica para troca dos micromedidores pela companhia de saneamento, a autora considerou os valores fornecidos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Itabira. Dessa forma, um hidrômetro classe B de mesmas características dos apresentados na

pesquisa custaria R\$ 75,00, enquanto o de classe C R\$ 135,00. A mão de obra para troca dos hidrômetros foi fixada em R\$ 4,67 (cada) e o preço do metro cúbico da água potável em R\$ 3,419.

Levando em conta esses valores, os 83 medidores Classe B custariam para a companhia R\$ 6612,60 para serem instalados, enquanto os de classe C teriam custado R\$ 11593,00. Considerando que o volume médio mensal medido pelo macromedidor foi de 3128,3 m³ e que os hidrômetros classe C mediram 8,5% a mais que os B - 10,4% contra 18,9%, respectivamente -, o volume de água contabilizado a mais foi de 265,91 m³ por mês. Logo, foram contabilizados R\$ 909,15 a mais por mês para companhia.

Isso, de acordo com Silva (2014), significa que em um primeiro cenário, considerando a troca de todos os hidrômetros com gastos de R\$ 11593,00 e a correção monetária (Payback Descontado), a empresa de saneamento passaria a ter retorno do capital investido a partir 14º mês de uso, fazendo com que o investimento se apresente como financeiramente viável (visto que o tempo de vida de um hidrômetro é de 5 anos).

Já em um segundo cenário, onde os hidrômetros classe C são usados desde o princípio (ou seja, não são realizadas trocas dos B pelos C), a diferença entre os valores de instalação ficaria em torno de R\$ 4980,00. Dessa forma, já considerando as correções financeiras, o investimento apresentaria retorno a partir do 6º mês, tornando-se economicamente vantajoso quando comparado à primeira situação (além de apresentar menos erros de leitura em vazões pequenas).

4.1.4 Sistema SCADA

De acordo com Spolaor (2011), sistemas SCADA (Controle Supervisório e Aquisição de Dados ou *Supervisory Control and Data Acquisition*, em inglês) são utilizados em diversos setores da sociedade para realizar o controle e monitoramento de equipamentos ou locais em tempo real. Todo sistema que coleta dados no campo, transfere as informações para uma central, processa e analisa os elementos e identifica as ações a serem tomadas são do tipo SCADA.

No campo do saneamento, como visto no item 2.2.3.4.4, os dados são captados na rede de distribuição e, quando analisados, pode-se perceber se está ocorrendo perdas ou variações no sistema de abastecimento. Utilizando

controladores lógicos programáveis acoplados em reservatórios, VRPs ou em *boosters*, é possível identificar quando os mesmos não estão operando corretamente e solucionar os problemas rapidamente, visto que após análise feita pelo SCADA um alarme é disparado na central de operações e os técnicos podem ir resolver a falha imediatamente. (REVISTA IN TECH apud ELIPSE KNOWLEDGEBADE, 2019).

Há no mercado inúmeros desenvolvedores de softwares tipo SCADA, alguns nacionais e outros estrangeiros. Dessa forma, os parágrafos a seguir serão destinados a apresentar alguns cases disponibilizados pelas empresas dos aplicativos, onde demonstram a efetividade dos seus programas em relação ao controle e diminuição das perdas de água.

O primeiro caso a ser apresentado será o da cidade de North Miami Beach no estado da Flórida, Estados Unidos. Segundo a Itron ([2019?]), até alguns anos atrás a cidade fazia todo o levantamento das medições e das manutenções da rede de forma manual. A cada trimestre os operadores passavam duas semanas percorrendo uma pequena seção dos 885km de tubulação a fim de encontrar possíveis problemas e vazamentos. Era possível fazer o trabalho e identificar as perdas, entretanto, o processo demorava em torno de um ano e meio para finalizar toda a rede, tornando-se inviável em todos os aspectos (financeiros, ambientais e de recursos humanos).

Dessa forma, a cidade viu a necessidade de automatizar o seu sistema de abastecimento de água. Implantou-se, então, um sistema SCADA de medição avançada juntamente com 38000 módulos de comunicação e 11000 sensores de ruído. Assim, o que antes poderia demorar mais de um ano para ser identificado, passou a ser conhecido em menos de três dias. Antes mesmo da completa instalação, 23 vazamentos foram encontrados e reparados, evitando um gasto de aproximadamente 102000 m³ de água por ano e economizando cerca de US\$ 38 mil. (ITRON, [2019?]).

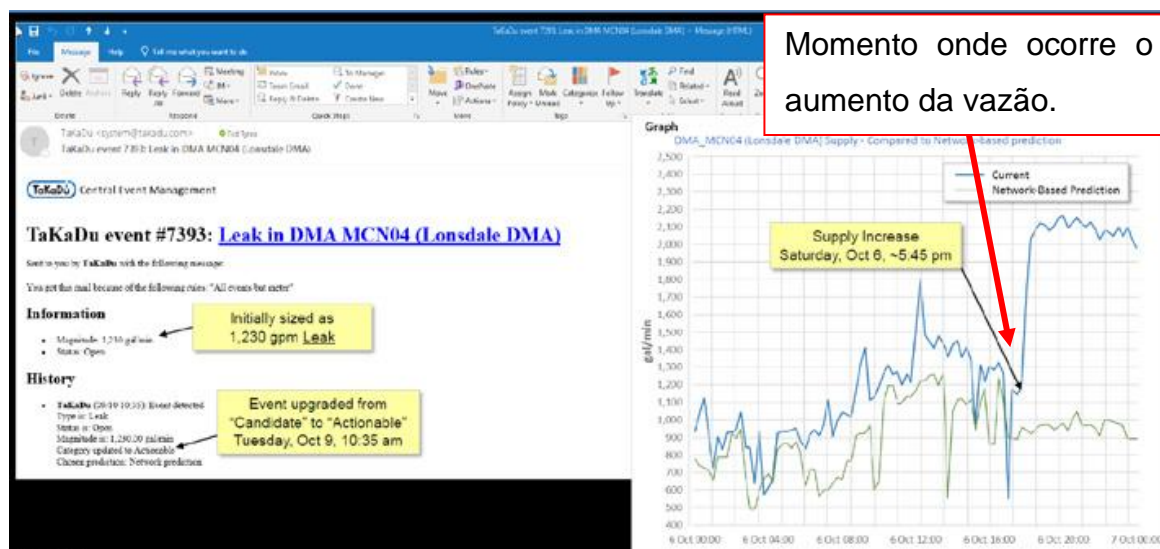
Com o sistema de controle e monitoramento, a cidade pode, além de detectar as perdas e problemas na rede, analisar o consumo de cada cliente (e dessa forma identificar consumos exagerados, possíveis fraudes ou vazamentos), diminuir o tempo de resposta para os reparos, deixar de realizar estimativas para as contas dos clientes, além de aumentar a satisfação dos moradores, já que os mesmos passam a ter todas as informações referentes ao seu consumo via internet, como

também serem alertados em casos de manutenções próximas a suas residências. Por fim, do ponto de vista econômico, a implantação do sistema tornou-se vantajosa tanto para a o cliente quanto para a companhia. (ITRON, [2019?]).

Outro caso de sucesso que pode-se destacar ocorreu também nos Estados Unidos, na cidade de Knoxville, Tennessee. Nesse caso, Takadu (2019b) disse que a empresa responsável pelo saneamento da cidade, a fim de diminuir as perdas de água, implantou um sistema SCADA em 2017, juntamente com medidas de particionamento da rede em Distritos de Medição e Controle (DMC). Dessa forma, a rede foi dividida em 44 áreas com aproximadamente 3000 consumidores cada, possuindo mais de 200 sensores de medição de pressão e vazão.

No início de outubro de 2018, através da comparação entre as vazões rotineiras apresentadas pela rede (e já armazenadas no banco de dados do software) e os acontecimentos que estavam ocorrendo naquele dia, o sistema detectou uma anomalia na distribuição. Como pode-se ver na Figura 8, aproximadamente às 17h45min do dia 6 o sistema identificou um aumento incomum na vazão de água (a linha verde indica as vazões padrões e a azul indica a vazão do dia em análise). (TAKADU, 2019b).

Figura 8 - Tela do software com o gráfico identificando o evento anômalo.



Fonte: Takadu (2019b, p. 2).

Após identificado o desequilíbrio na rede, o sistema calculou a vazão de perda da água naquele ponto como sendo de 4,65 m³ por minuto. A princípio, os funcionários da companhia acreditavam ser uma falha em algum dos sensores,

porém, após perceberem uma certa estabilidade naquele padrão optaram por realizar alguns testes para mensurar a real magnitude do problema. Assim, o software foi capaz de indicar em qual dos DMCs estava ocorrendo a falha. Dessa forma, a empresa pode deslocar uma equipe munida de equipamentos detectores de ruído até a área identificada. (TAKADU, 2019b).

Na metade do mês de outubro, 12 dias após o software ter identificado o problema, a equipe encontrou o vazamento. Ele estava situado na margem de uma rodovia, sob um viaduto, e sua vazão era maior do que a estimada pelo software. Na média, era de 5,05 m³ por minuto, mas o volume total de perda já estava estimado em 72780 m³. Nas figuras a seguir é possível ver o vazamento e onde o mesmo se encontrava. (TAKADU, 2019b).

Figura 9 - Local onde foi encontrado o vazamento



Fonte: Takadu (2019b, p. 2).

Figura 10 - Vazamento de água encontrado próximo ao viaduto, em Knoxville



Fonte: Takadu (2019b, p. 2).

Apesar de ter sido identificado e corrigido em poucos dias, o montante de água perdida custou a companhia em torno de US\$ 7720. Entretanto, estimou-se que sem o uso do sistema SCADA e dos outros métodos empregados, a descoberta teria levado muito mais tempo. Considerando a mesma vazão média, em apenas um mês teria sido perdido 181700 m³ de água, custando à sociedade US\$ 19300. Já em três meses, 545100 m³ de água teriam vazado para fora da tubulação, ao custo aproximado de US\$ 57890. (TAKADU, 2019).

4.2 CASO LIMEIRA - COMO A CIDADE REDUZIU SUAS PERDAS

Neste item serão abordadas algumas informações sobre a situação da rede de saneamento na cidade de Limeira, São Paulo, com enfoque nas medidas adotadas para a redução e controle das perdas. Tendo em vista que não foi possível conseguir dados mais atualizados diretamente com a empresa, como dito anteriormente, todos os dados expostos aqui foram retirados do portal SNIS (2019b), do portal Aquasfera ([2018?]) e do artigo “Privatização do Saneamento Básico no Brasil: um estudo de caso da cidade de Limeira – SP” de Felipe Baldin Santana (2015).

Limeira é uma cidade do interior do estado de São Paulo, localizada a, aproximadamente, 60km de Campinas. No último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sua população era de um pouco mais de 276 mil habitantes, logo considerada de médio porte (IPEA, 2008), e sua área territorial, em 2018, era de quase 581km² (IBGE, 2017). Nos séculos anteriores, a cidade possuía sua economia baseada na cafeicultura e na citricultura. Atualmente, apesar de ainda possuir uma grande base agrícola nas frutas cítricas e na cana-de-açúcar, é a produção de joias folheadas e as indústrias metalúrgicas, de máquinas e autopeças que movem a economia da cidade. (LIMEIRA, [2019?]).

Segundo Santana, a partir do ano de 1995, Limeira passou a ter seu serviço de saneamento administrado por uma empresa privada. O contrato de concessão foi realizado logo após entrar em vigor a lei que permitiu as privatizações e levou a cidade a ser a primeira no país a privatizar toda a gestão de saneamento (incluindo o atendimento à população e obras de expansão e manutenção das redes de água e esgoto). Essa mudança, ainda segundo o autor, trouxe bons resultados,

principalmente se avaliados os indicadores de abrangência de atendimento, redução de perdas e investimentos efetuados.

Já nos primeiros anos da empresa privada, houve bons avanços na gestão das perdas, com grandes investimentos para esse setor. Para isso, a companhia focou em três ações principais: ações em infraestrutura/processos, ações em monitoramento/software e ações de treinamento pessoal. (SANTANA, 2015). A seguir, o Quadro 4 apresenta as medidas tomadas em cada um desses três pilares nos primeiros anos de atuação da empresa. Com exceção das práticas de treinamento dos funcionários, quase todas as outras já foram abordadas de alguma forma nesse trabalho.

Quadro 4 - Detalhamento das medidas

Período	Ações de Infraestrutura/ Processo	Ações de Monitoramento/ Softwares	Ações em Treinamento/ Pessoas	Redução de Perdas no período
1995 a 1996	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ações de combate às perdas visíveis na ETA e nos centros de reservação; ▪ Aplicação de um novo modelo padrão de cavalete; ▪ Utilização de plantas cartográficas em campo; ▪ Qualificação de fornecedores e homologação de materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementação de indicadores de desempenho: VK (vazamento por quilômetro de rede); VLA (vazamento por ligação de água); IPL (índice de perdas por ligação); IAC (índice de acompanhamento de caça vazamento); RRA (rendimento das redes de água); 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mudança de cultura: a gestão de perdas é um problema e compromisso de todos os integrantes da empresa; ▪ Treinamento interno das equipes de manutenção e execução de redes para capacitação em novos métodos. 	De 45% para 39%
1996 a 1998	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituição de compromissos de qualidade para enquadramento dos prazos de execução dos serviços; ▪ Início da implantação da macromedição; ▪ Trocas preventivas e corretivas dos hidrômetros. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento do software de geoprocessamento; ▪ Automação e telemetria; Sistema SCADA; ▪ Implantação de sistema de registro de ordem de serviço. 		De 39% para 27,8%

Fonte: Betarelli (apud SANTANA, 2015, p. 21).

Com essas medidas, em poucos anos conseguiu-se reduzir o índice de perdas na distribuição de 45%, em 1995, para aproximadamente 18% em 2003, e chegando ao menor valor em 2010, com apenas 12,9%. Valores baixos assim são comparáveis a países desenvolvidos, como Estado Unidos (12,8%, em 2011) e Coréia do Sul (16,3%, em 2014). (SNIS, 2019a).

Como visto no Quadro 4, houve uma redução de 17,2% em apenas 4 anos de atuação. Contudo, a empresa só conseguiu diminuir ou manter seus valores em níveis baixos porque permaneceu executando e investindo nessas e em outras ações. Conforme o Aquasfera ([2018?]), atualmente a cidade possui 1200km de redes de água, divididas em 70 distritos de medição e controle, abastecendo 100 mil ligações.

Além dos 70 DMCs, a empresa possui um parque de hidrômetros inferior a 5 anos de idade e equipes exclusivas para detecção de vazamentos com equipamentos sonoros. Outra medida adotada refere-se ao atendimento e manutenção das tubulações. Devido aos sistemas de programação remota, é possível identificar e realizar os reparos em menos de 6 horas. Essas ações permitiram que hoje a cidade capte e trate 15% menos água do que em 1995, mesmo possuindo o dobro de ligações do que tinha na época (AQUASFERA, [2018?]),

4.3 CASO PORTO ALEGRE – O QUE A COMPANHIA DE SANEAMENTO TEM FEITO PARA CONTROLAR E REDUZIR AS PERDAS

Porto Alegre é a capital do estado do Rio Grande do Sul e segundo o IBGE (2017) a população em 2010 era de aproximadamente 1,4 milhão, distribuídos em uma área de 495,4km². De acordo com a Ferreira e Menezes (2017), sua economia baseia-se no majoritariamente no setor terciário, seguido pela indústria e depois pela agropecuária. Outro fator que movimenta a economia é o turismo de negócios. De acordo com Paim (2017), Porto Alegre ocupa o terceiro lugar entre as cidades brasileiras que mais recebem congressos e eventos internacionais, e dependendo da magnitude deles, a população da capital pode variar consideravelmente nesses dias.

A seguir será mostrado um panorama geral da situação das perdas de água na cidade de Porto Alegre, e as medidas de controle que foram ou estão sendo

implantadas pelo Departamento Municipal de Águas e Esgoto (DMAE) a fim de reduzir os índices de perdas. Todo conteúdo aqui exposto foi captado através de visita técnica na companhia, de entrevista realizada com o engenheiro Ronald Schütz ou, em alguns casos, retirado de material disponibilizado na internet pelo engenheiro Elton Mello.

Até o início dos anos 2000, o DMAE não possuía nenhum programa para redução e combate as perdas de água. Contudo, uma medida já estava sendo aplicada e até hoje é considerada muito importante para esse aspecto: a troca das tubulações antigas por uma rede nova em material PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Com exceção da tubulação da adutora principal, mais de 50% dos 4160km da rede atual de distribuição é feita deste material.

O PEAD possui excelentes características que evitam vazamentos, tais quais: uso de um menor número de conexões - visto que um rolo desse tipo de tubo tem por volta de 100 metros, enquanto um tubo de outro material (PVC, deFoFo etc.) tem apenas 6 metros -, flexibilidade, alta resistência à impactos, além da facilidade na execução e na manutenção. (RACAZA, 2015). Ronald acredita que o número atual de perdas reais poderia ser muito maior caso a tubulação não tivesse sido trocada por esse material.

Após a implantação do programa para redução de perdas, juntamente com um sistema de gestão e planejamento estratégico, o DMAE passou a adotar outras medidas para tentar mitigar ou controlar as perdas reais e aparentes. A primeira medida que se pode ressaltar foi a setorização da rede. Essa ação, como já visto anteriormente, é de grande valia para se ter um melhor gerenciamento da rede. Todavia, Porto Alegre ainda tem uma grande dificuldade em controlar as pressões e os volumes perdidos, visto que nem todos os setores são macro medidos.

Nos locais onde há esse controle, o DMAE realiza a macromedição através da Pitometria com telemedição. Isso significa que os valores de vazão medidos pelos tubos Pitot são captados e transmitidos à central, onde os operadores podem verificar se houve alguma diferença entre os valores habituais. Pode-se também fazer uma comparação entre os valores macro medidos e os micro medidos nos hidrômetros. Contudo, os valores captados nos hidrômetros são de responsabilidade da gestão comercial e não passam pelo programa de redução de perdas. Logo, por não possuir um sistema centralizado, com todas as informações disponíveis em um

único lugar, esse processo pode demorar meses, uma vez que dependerá do repasse das informações entre setores e da boa vontade dos envolvidos.

Para tentar reverter esse desencontro de informações e acelerar a redução das perdas (reais e aparentes), o DMAE desenvolveu duas medidas: realizar a automação e telemetria em grandes consumidores, posto que esses correspondem a 40% do faturamento da companhia; e transformar inicialmente 1000km de rede em distritos de medição e controle (DMC), ou seja, zoneamento com macromedição, telemetria em todos os pontos, georreferenciamento e VRPs modulados.

A primeira medida já está em uso desde 2016. Ela consiste em utilizar um software do tipo SCADA juntamente com micromedidores telemetrizados a fim de monitorar o consumo de grandes consumidores de água do município, tais quais indústrias, shoppings e hospitais. A imagem abaixo mostra a tela inicial de um software similar já utilizado pelo DMAE, onde é possível verificar que pode-se obter uma série de relatórios e gráficos referentes ao consumo, vazão e pressão em todos ou em um dos hidrômetros escolhidos.

Figura 11 - Tela inicial com as opções de relatórios e gráficos

The screenshot shows the main dashboard of the Telegog 2.0 software. At the top, there is a navigation menu with options: Home, Monitorias, Configurações, Instalações, Cadastros, and Segurança. The user is logged in as 'usuário: etton'. The main heading is 'Bem-vindo ao Sistema Telegog'. Below this, there are several report and alarm modules:

- Relatório Diagnóstico:** Informações sobre Clientes e status de seus respectivos Equipamentos.
- Relatório de Consumo:** Consumo Horário, Diário, Semanal e Mensal, Individual (Cliente) ou Agrupado (Filtros).
- Relatório de Simulação de Ganho de Medição (IDM):** Faz a simulação de ganho de medição através do cálculo de CRI.
- Relatório de Perfil Médio:** Informa o Perfil Médio dos Clientes (por agrupamento).
- Central de Alarmes:** Central para monitorar e resolver os Alarmes enviados pelo Medidor.
- Gráficos:** Gráficos de Consumo, Pressão e Vazões Gr. Individual (Cliente) ou Agrupado (Filtros).
- Relatório de Perda de Medição:** Informa os Equipamentos que tiveram perda de medição superior ao parâmetro indicado.
- Relatório de Medidores Fora da Faixa:** Informa os Medidores que estão fora da faixa (abaixo de Qmín e acima de Qmáx).

Red callout boxes with arrows point to these modules, providing the following descriptions:

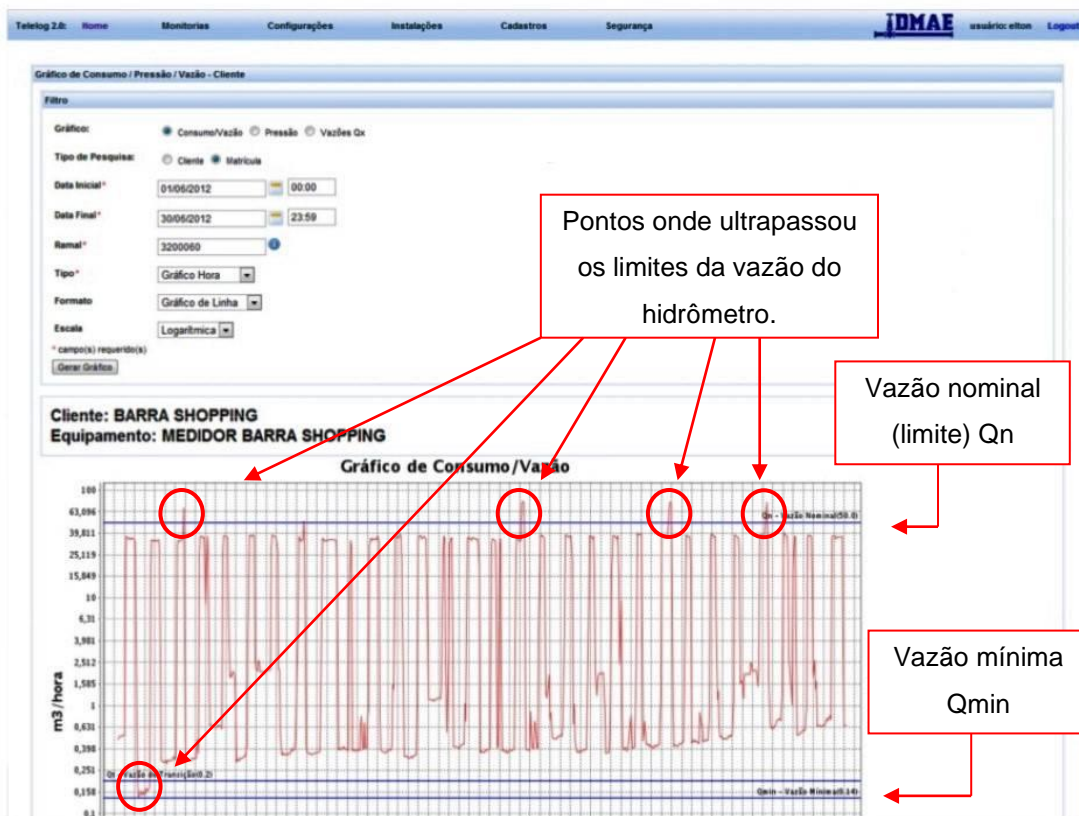
- Infos gerais e status dos equipamentos.
- Monitora e resolve os alarmes enviados pelo medidor.
- Consumo individual horário, diário, semanal, mensal.
- Gráficos de consumo, pressão e vazão.
- Simulação de ganho de medição.
- Relatório sobre perdas de medição superiores ao indicado.
- Relatório de perfil médio dos clientes.
- Medidores que estão fora dos limites de vazão mínimo e máximo.

Fonte: Mello (2012, p. 18).

As próximas quatro imagens mostram outras telas do software, onde é possível ver alguns dos itens acima, referentes ao medidor situado no Barra

Shopping, na zona sul de Porto Alegre. A Figura 12 mostra o gráfico com a vazão horária e os limites de operação do medidor instalado. Dessa forma, pode-se observar quantas vezes a vazão passante ultrapassou o limite de medição do hidrômetro, gerando sub ou supramedição.

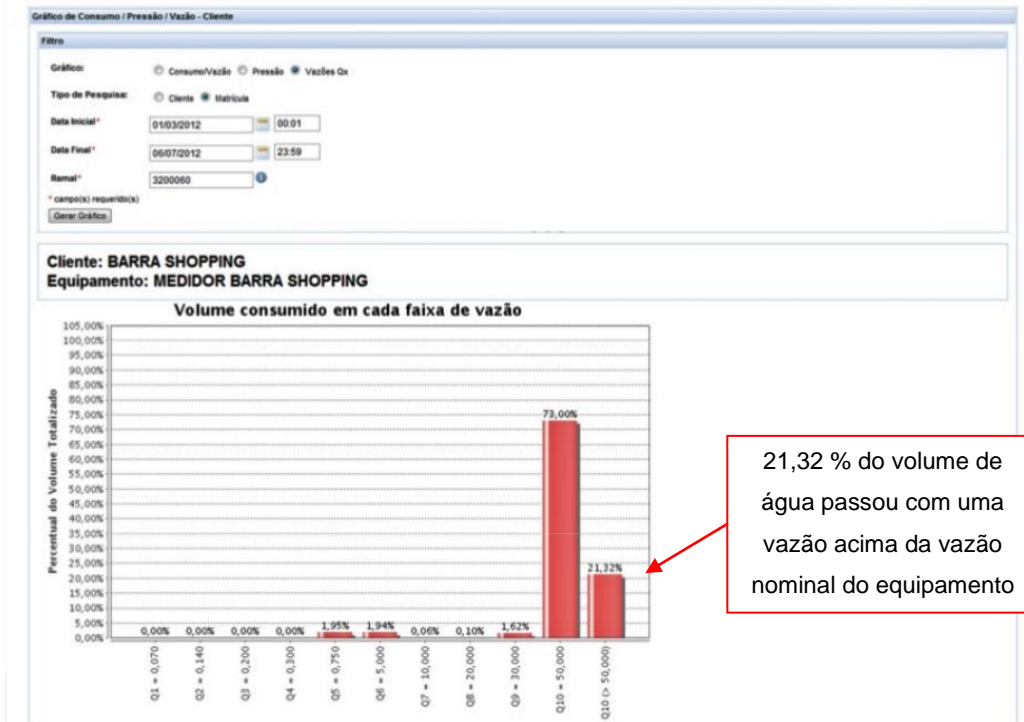
Figura 12 - Tela com gráfico com as vazões horárias (ref. mês de junho/2012)



Fonte: Mello (2012, p.24).

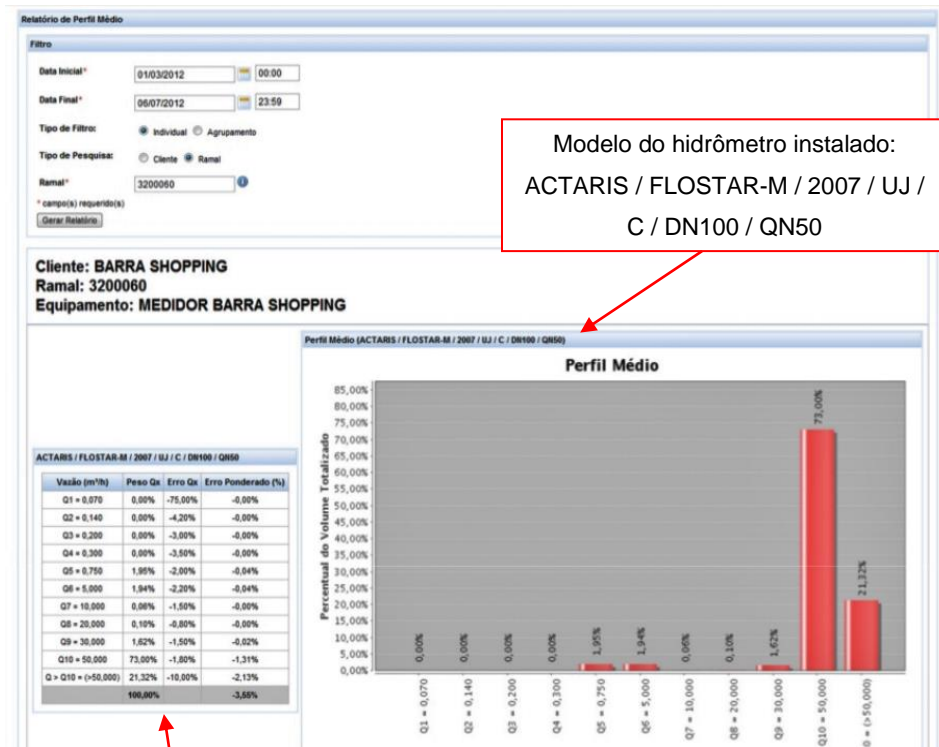
Já a Figura 13 apresenta um gráfico onde consta o percentual do volume consumido em cada faixa de vazão em que o medidor atua. Logo, é possível ver a porcentagem do volume que não está medido corretamente. A Figura 14 apresenta o mesmo gráfico do percentual de volume da Figura 13 acompanhado da Tabela 6, que exibe a porcentagem de erro em cada faixa de vazão no hidrômetro em estudo, determinando a porcentagem de erro ponderado final. Além disso, nesta tela aparece as especificações (marca, modelo, diâmetro etc.) do medidor em análise.

Figura 13 - Tela com gráfico com a porcentagem de volume consumido



Fonte: Mello (2012, p. 26).

Figura 14 - Tela com gráfico da porcentagem de volume consumido e tabela de erros ponderados



Fonte: Mello (2012, p. 29).

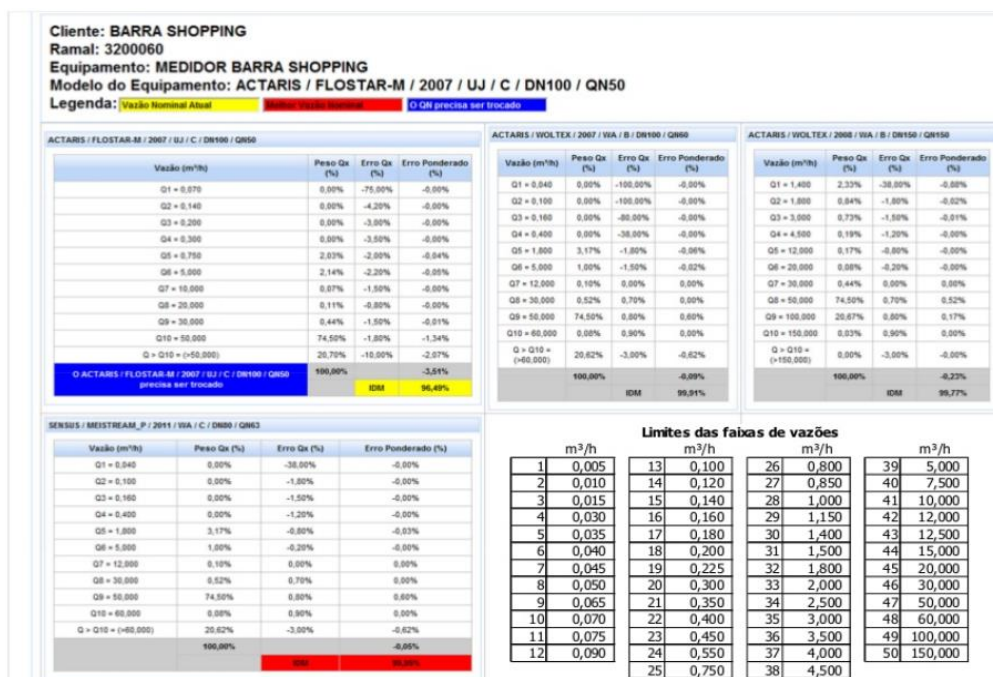
Tabela 6 - Porcentagem de erro de medição considerando o medidor “ACTARIS / FLOSTAR-M / 2007 / UJ / C / DN100 / QN50”

Vazão (m3/h)	Peso Qx	Erro Qx	Erro Ponderado (%)
Q1 = 0,070	0,00%	-75,00%	0,00%
Q2 = 0,140	0,00%	-4,20%	0,00%
Q3 = 0,200	0,00%	-3,00%	0,00%
Q4 = 0,300	0,00%	-3,50%	0,00%
Q5 = 0,750	1,96%	-2,00%	-0,04%
Q6 = 5,000	1,94%	-2,20%	-0,04%
Q7 = 10,000	0,06%	-1,50%	0,00%
Q8 = 20,000	0,10%	-0,80%	0,00%
Q9 = 30,000	1,62%	-1,50%	-0,02%
Q10 = 50,000	73,00%	-1,80%	-1,31%
Q > Q10 = (>50,000)	21,32%	-10,00%	-2,13%
	100,00%		-3,55%

Fonte: Adaptado de Mello (2012, p. 29).

Por fim, na Figura 15 aparecem tabelas com simulações de outros modelos de hidrômetros. Dessa forma, caso o software tenha verificado um erro considerável nas etapas anteriores, o mesmo consegue determinar qual será o melhor equipamento a ser utilizado na atual situação de consumo. Na situação exemplificada na figura, o melhor modelo de hidrômetro seria “SENSUS / MEISTREAM_P / 2011 / WA / C / DN80 / QN63”.

Figura 15 - Tela com simulações de outros modelos de hidrômetros



Fonte: Mello (2012, p. 31).

Vale ressaltar que são considerados grandes consumidores aqueles que possuem consumo maior que 100 m³ de água, ou seja, aproximadamente 1000 ramais em toda a cidade. Na posse de todas as informações disponíveis no software, o município consegue melhorar o controle sobre o seu sistema de abastecimento de água e, se aplicada as medidas corretas, consegue diminuir o índice de perdas aparentes significativamente e, dependendo do caso, as perdas reais também.

Todos os dados captados pelo software são disponibilizados para as grandes companhias que possuem seus hidrômetros telemetrizados pelo DMAE. Dessa forma, elas podem acompanhar seu consumo de água e traçar planos para diminuição do consumo, caso assim desejar.

A segunda medida desenvolvida pelo DMAE para diminuir as perdas ainda está em fase de arrecadação de financiamento junto ao governo. Essa medida, no entanto, já apresentou resultados muito satisfatórios no programa piloto realizado em áreas críticas da cidade. Nesses estudos preliminares, transformou-se três zonas da cidade, correspondente a 77km de rede, em DMCs. Através desse “teste”, determinou-se que seria necessário R\$ 40 mil por quilômetro de rede para implementar os DMCs e reduzir as perdas físicas. Caso a intenção seja reduzir as perdas aparentes também, é necessário R\$ 60 mil por quilômetro para a redução das perdas totais.

Contudo, o retorno do investimento é considerado rápido. Durante o programa piloto, o investimento foi retomado em um pouco mais de 1 ano. Entretanto para a escala real, considera-se que o retorno financeiro se dará entre 2 e 3 anos. Quanto a diminuição das perdas, apesar de na escala reduzida os valores terem sido maiores, determinou-se para fins de projeto, que devido à redução das perdas reais, a vazão também diminuiria na ordem de 0,25 L/s a cada quilômetro de rede. Já para perdas aparentes haveria uma recuperação de 5,44% do valor macromedido inicialmente.

5 DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados e expostos no item anterior é possível fazer algumas considerações. A primeira refere-se especificamente aos equipamentos de ruído. Estes são amplamente utilizados pelas companhias, principalmente o geofone por possuir um custo mais baixo que o correlacionador e não necessitar de treinamentos prévios para o seu manuseio. Porém, ao se considerar que um correlacionador consegue identificar vazamentos em uma profundidade maior e em um tempo um pouco menor, talvez seja mais vantajoso utilizar somente o correlacionador e não o geofone.

Contudo, para se fazer uma confirmação seria necessário fazer uma análise de alguns fatores, como quantidade de vazamentos, profundidade da tubulação, disponibilidade de equipe e tempo máximo para identificação e reparos em cada caso específico, a fim de verificar se o geofone atenderia às necessidades. No entanto, recomenda-se que, caso a companhia de saneamento possua redes com mais de 2 metros de profundidade, utilize um correlacionador de ruídos para identificar vazamentos.

Deve-se salientar que antes da utilização dos equipamentos de ruído é necessário a setorização da rede e um comparativo das medições de vazões, a fim de verificar o local aproximado onde está o vazamento. Esses equipamentos são medidas de manutenção corretiva, usado em últimos casos para identificar o local do conserto da rede. Logo, indica-se esses dispositivos como métodos auxiliares, devendo ser acompanhados de outra(s) medida(s) de gerenciamento para controle das perdas.

Outro fator exposto e que se deve analisar é a determinação do micromedidor a ser utilizado. Foi sugerido a utilização de hidrômetros classe C para redução das perdas, uma vez que esses são mais sensíveis a vazões baixas e apresentam um bom retorno financeiro quando comparado aos de classe B. Contudo, como visto no item 2.2.3.4.2, outro ponto que deve ser considerado na escolha e instalação do medidor é a vazão necessária dentro da edificação.

Sabendo-se que o consumo nas economias é variável, deve-se verificar qual hidrômetro possui a melhor faixa de vazão para determinado caso. Os micromedidores apresentam quatro demarcações de vazões: vazão mínima, vazão de transição, vazão nominal e vazão máxima e, como visto, as águas passantes por

eles não devem ultrapassar os intervalos limites (mínima e máxima), pois apresentarão erros e, conseqüentemente, perdas aparentes. Dessa forma, deve-se verificar qual hidrômetro possui a vazão nominal mais próxima ao perfil da edificação. (GAMEIRO, 2007). Assim, determinando corretamente a vazão, optando por um micromedidor classe C e cuidando a idade limite dos mesmos, o índice de perdas aparentes será baixo e o investimento será mínimo, com retornos em menos de 1 ano.

Outro investimento que vale a pena é a implantação de sistema SCADA. Apesar não ter se conseguido valores referentes ao seu custo de instalação, esses softwares são, como visto, excelentes para gerenciar toda a rede de abastecimento. Visto que seu sistema pode ser adaptado às várias necessidades da empresa, eles podem ser usados não somente para a o monitoramento e redução das perdas, mas também para verificar os níveis de reservatórios, níveis de qualidade da água (e, por exemplo, alterar automaticamente os valores dos produtos químicos quando a água bruta chegar na ETA com um padrão diferente do habitual), etc. Logo, o retorno financeiro se dará em várias frentes, não somente com a redução dos volumes perdidos ou com a melhoria na medição. A seguir, apresenta-se um quadro identificando os principais pontos positivos e negativos de cada tecnologia descrita, de acordo com o que foi exposto durante o trabalho.

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens das tecnologias estudadas

(continua)

Dispositivo Eletrônico	Vantagens	Desvantagens
Geofone Eletrônico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo relativamente baixo; ▪ Facilidade de uso (não necessita de treinamentos). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exige deslocamento de recursos humanos; ▪ Necessita de um método auxiliar para identificar a zona onde está o vazamento e também para controlar os níveis de perdas.
Correlacionador de Ruído	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior agilidade na determinação no local do vazamento (comparando ao geofone); ▪ Identifica vazamentos em locais profundos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessita instalação em diferentes pontos e treinamento do pessoal; ▪ Necessita de um método auxiliar para identificar a zona onde está o vazamento e também para controlar os níveis de perdas.

(conclusão)

Dispositivo Eletrônico	Vantagens	Desvantagens
Hidrômetro Classe C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior precisão que os outros hidrômetros; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo maior que outras classes de hidrômetros;
Software SCADA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controla inúmeras variáveis simultaneamente (vazão, qualidade, pressão etc.); ▪ Detecta vazamentos e anormalidades precocemente. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalação mais complexa que os outros métodos (leva poucas semanas) (TAKADU, [2019c?]). ▪ Necessário treinamento dos funcionários para operação e implantação.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, optou-se por destacar a cidade de Limeira, pois, como visto, a mesma implantou uma série de medidas e equipamentos para melhorar o seu sistema de abastecimento e reduzir as perdas ocorrentes. Todavia, nos últimos anos um fenômeno reverso está ocorrendo. Como pode-se observar na Tabela 7, entre os anos de 2014 e 2015 houve um aumento de quase 2% no índice de perdas na distribuição e entre os anos de 2016 e 2017 o aumento foi de 3%. Sabendo-se que o gerenciamento e o controle continuam sendo realizados, não se vê uma razão operacional para tais aumentos.

Tabela 7 - Índices de perdas em Limeira, SP

(continua)

Ano de Referência	IN013 - Índice de perdas faturamento	IN049 - Índice de perdas na distribuição	IN050 - Índice bruto de perdas lineares	IN051 - Índice de perdas por ligação
2017	11,31	18,62%	10,04	118,08
2016	10,35	15,57%	8,25	97,37
2015	8,93	15,94%	8,06	95,34
2014	7,62	14,08%	7,67	90,45
2013	9,37	14,46%	8,4	98,73
2012	9,56	14,33%	8,4	98,66
2011	9,93	14,82%	8,63	101,2
2010	7,45	12,93%	7,3	85,79
2009	8,15	14,42%	7,9	93,17
2008	10,42	16,64%	9,34	112,04
2007	10,74	16,43%	9,36	113,51
2006	10,82	16,47%	9,36	114,3
2005	10,68	16,32%	9,2	112,83
2004	10,94	17,15%	9,64	117,81

(conclusão)

Ano de Referência	IN013 - Índice de perdas faturamento	IN049 - Índice de perdas na distribuição	IN050 - Índice bruto de perdas lineares	IN051 - Índice de perdas por ligação
2003	12,71	17,70%	10,52	129,06
2002	12,79	18,39%	11,09	138,1
2001	12,87	18,45%	11,42	141,25

Fonte: Elaborado pela autora, com base em SNIS (2019b).

Nota-se, porém, que esse fenômeno reverso está acontecendo não só em Limeira, mas em quase todo o país. Os dados nacionais do SNIS mostram que, apesar dos esforços e da demanda crescente em diminuir as perdas, os índices vêm aumentando nos últimos anos. A tabela a seguir mostra os dados do índice de perdas na distribuição média do Brasil, onde percebe-se que o aumento não é tão significativo como em Limeira, porém, já demonstra que o país está na contramão daquilo que é necessário.

Tabela 8 - Dados nacionais das perdas na distribuição

Ano de Referência	IN049 - Índice de perdas na distribuição
2017	38,29%
2016	38,05%
2015	36,70%
2014	36,67%
2013	36,95%
2012	36,9%
2011	38,8%
2010	38,8%
2009	42,6%
2008	41,6%
2007	43,5%

Fonte: Elabora pela autora, com base em SNIS (2019b) e Instituto Trata Brasil (2013).

Infelizmente, não foi possível captar dados mais recentes sobre a situação da companhia da cidade de Limeira. Contudo, sabe-se que grande parte das técnicas e equipamentos relatados neste trabalho foram e ainda estão sendo empregados, fazendo com que a cidade mantenha as porcentagens de perdas consideradas baixas. Dados de Sinico (2009), durante uma palestra no “I Encontro das Águas”, relatam que, em 2009, apenas 13,23% da tubulação era em material PEAD. Caso não se tenha aumentado muito esse percentual nos últimos 10 anos, sugere-se que

a companhia faça um estudo para realizar a troca das tubulações por esse material, já que, como visto no caso de Porto Alegre, ele diminui os vazamentos (com resultados mais visíveis, principalmente, no longo prazo).

No caso de Porto Alegre, as circunstâncias são um pouco diferentes, porém, a situação adversa está bem similar. Por muitos anos o DMAE apresentou um índice de perdas considerado baixo para os padrões brasileiros. Porém, como pode ser visto na Tabela 9, nos últimos anos tem havido uma elevação nos percentuais, chegando próximo a média nacional (38%). Os dados dos anos 2010 a 2017 foram captados no banco de dados do SNIS e os de 2018 e 2019 foram fornecidos pelo próprio DMAE, sendo que os de 2019 se referem ao acumulado até o mês de junho.

Tabela 9 - Índices de perdas em Porto Alegre, RS

Fonte	Ano de Referência	IN013 - Índice de perdas faturamento	IN049 - Índice de perdas na distribuição	IN050 - Índice bruto de perdas lineares	IN051 - Índice de perdas por ligação
DMAE	2019	-	31,24%	-	-
	2018	-	29,51%	-	-
SNIS	2017	36,47	28,46%	30,82	428,38
	2016	33,63	24,98%	26,47	369,68
	2015	30,37	16,95%	17,66	247,8
	2014	34,05	24,63%	26,79	376,42
	2013	35,67	26,26%	28,9	405,29
	2012	34,95	24,76%	27,29	382,4
	2011	34,7	24,76%	26,4	372,54
	2010	30,25	23,22%	23,54	329,1

Fonte: Elaborado pela autora, com base em SNIS (2019b) e Ronald Schütz - DMAE (2019).

De acordo com Ronald, esse é um reflexo da crise econômica que abateu o país recentemente. Muitas pessoas deixaram de pagar suas contas em dia, outras voltaram a morar em locais ilegais, com redes de água fraudadas (o que pode explicar os aumentos em Limeira e no país também). Além disso, o governo diminuiu consideravelmente os aportes financeiros, “sucateando” as ferramentas e até mesmo a mão de obra da empresa pública de saneamento.

Essa opinião de Ronald é reforçada pelo presidente executivo no Instituto Trata Brasil, Édison Carlos, que no relatório “Perdas de água potável seriam suficientes para abastecer 30% da população brasileira por um ano” avaliou o atual cenário brasileiro como preocupante. Ele disse, ainda, que “o aumento das perdas

mostra que há um problema de gestão e que os investimentos na redução não vêm sendo suficientes para combater o problema”. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019b).

Poderia ser sugerido como medida para redução das perdas em Porto Alegre alguns métodos vistos nesse trabalho, como o uso de hidrômetros classe C ou o uso de geofones e correlacionadores de ruído para identificar os pontos de perda. Entretanto, de acordo com Ronald, 98% da cidade já é hidrometrada e uma boa parte desses hidrômetros já são do tipo classe C. Logo, não haveria uma redução tão significativa nas perdas aparentes caso o restante fosse trocado imediatamente.

No mais, os dispositivos de ruídos também já são utilizados pelo DMAE como recurso corretivo e emergencial em situações onde se percebe uma queda na pressão e na vazão, mas nenhum vazamento ou fuga é visivelmente encontrado. Todavia, julga-se impossível realizar um geofonamento de toda a rede periodicamente, pois como visto no caso de North Miami Beach (item 4.1.4), demoraria anos para averiguar todos os 4160km de rede presentes em Porto Alegre.

Vale ressaltar que a Pitometria, utilizada na macromedição, não é a melhor ferramenta para tal, pois, como visto anteriormente, ela apresenta perda de carga no local de instalação e não é tão precisa quanto um medidor eletromagnético ou ultrassônico. No entanto, a troca desses e a inserção dos macromedidores apenas ajudariam o DMAE a possuir um melhor gerenciamento da rede, mas não alteraria o volume de perdas presentes.

A companhia já possui boas ideias e políticas para redução das perdas: o uso de softwares de monitoramento e telemetria em alguns pontos, o uso de hidrômetros classe C, a implantação de DMCs em 1000km da rede e a utilização de geofone e correlacionadores em algumas situações. Percebe-se que disposição não falta para mudar a situação, contudo, assim como em quase todas as empresas públicas, falta incentivo financeiro dos governos para poder ampliar essas iniciativas para toda extensão da rede. Quando isso for possível, certamente a cidade reduzirá consideravelmente seus índices de perdas.

Após conhecer os tipos de perdas, reais e aparentes, pode-se compreender suas diferentes características e as diferentes abordagens para a sua redução. À primeira vista, as perdas aparentes apresentam maiores efeitos sobre questões financeiras, tanto da companhia quanto do consumidor, visto que os erros e falhas de medição podem modificar consideravelmente as receitas da empresa. Contudo, as perdas reais podem causar grandes consequências no setor financeiro e

ambiental das companhias, uma vez que a água “vazada” terá consumido produtos químicos e energia no seu tratamento e na sua distribuição. Simplificadamente, o Quadro 5 mostra as principais características das perdas reais e aparentes.

Quadro 6 - Principais características das perdas de água

Itens	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição
Custos associados aos volumes de água perdidos	Custo de produção	Tarifa
Efeitos no meio ambiente	Desperdício de recurso hídrico, necessidade de ampliar mananciais	-
Efeitos na saúde pública	Risco de contaminação	-
Empresarial	Perda do produto	Perda de receita
Consumidor	Imagem negativa (ineficiência e desperdício)	-
Efeitos no consumidor	Repasse para tarifa, desincentivo ao uso racional	Repasse para tarifa, incitamento a roubos e fraudes

Fonte: ABES (2013, p. 9).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse trabalho foi possível observar e entender os tipos de perdas existentes em um sistema de abastecimento de água. Se antes o entendimento de perdas se resumia aos vazamentos de água ocorridos na tubulação de distribuição, pode-se agora perceber que essa é apenas uma das razões para os elevados índices de perdas, que como visto também inclui os vazamentos nos ramais prediais, os extravasamentos nos reservatórios, a má medição, as fraudes (em medidores e na rede), as falhas nos cadastros etc.

A partir desses conhecimentos, pode-se determinar as melhores alternativas e tecnologias para reduzir os percentuais de cada tipo de perda. Perdas reais podem ser evitadas e controladas utilizando-se métodos de manutenção preditiva com o auxílio de softwares SCADA e/ou zonas de medição e controle. Ou ainda podem ser identificados para posterior correção, utilizando-se equipamentos de ruído, como geofones e correlacionadores. Já as perdas aparentes, além dos softwares que podem ser aplicados para verificação do correto dimensionamento dos medidores, pode-se melhorar as medições (e, conseqüentemente, reduzir as perdas) utilizando-se hidrometros mais precisos, como os de classe C.

Como não é possível fazer um comparativo entre todos os dispositivos, visto que são aplicados em situações e tipos de perdas diferentes, não se pode determinar qual o melhor método sem saber qual a finalidade desejada. Entretanto, arrisca-se dizer que, para um completo e total controle das perdas, seria necessário implantar e aplicar no mínimo três dos métodos expostos, sendo eles o software, o hidrômetro e um dos equipamentos de ruído.

Por fim, é importante ressaltar que não existe percentual de perdas zero. Mesmo aplicando todos os métodos sugeridos, sempre haverá um valor mínimo que não será possível reduzir devido as questões técnicas, mas principalmente financeiras. Países desenvolvidos administram seus percentuais entre 6% (Dinamarca) e 20% (Bélgica e Reino Unido). Contudo, a meta brasileira até 2033, segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2013), é de 31%, valor considerado alto ainda.

É possível reduzir mais esse valor, porém, é necessário mais investimentos nesse setor a fim de se aplicar as práticas e tecnologias demonstradas durante essa pesquisa. Ao atingir a meta, é improvável que se continue com os trabalhos e,

principalmente, com os aportes financeiros. Caso contrário, os percentuais voltarão a subir e todos os esforços terão sido em vão, como ocorreu em Porto Alegre e vem ocorrendo no país de um modo geral, como salientado pelo engenheiro do DMAE, Ronaldo Schütz, e pelo presidente do Instituto Trata Brasil, Édison Carlos.

Estudos recentes do Instituto Trata Brasil (2019b) assustam ao demonstrar essa carência de investimento. De acordo com ele, em 2017, perdeu-se mais dinheiro do que aquilo que foi investido. Somente com as perdas de água o prejuízo foi de R\$ 11,3 bilhões, enquanto o total aplicado em serviços de água e esgoto no país não ultrapassou R\$ 11 bilhões. Nesses estudos, estimou-se que, somente com o montante perdido em vazamentos (3,5 bilhões de m³) em 2017, seria possível abastecer 60 milhões de pessoas durante um ano. Ou seja, um país inteiro como a Itália que possui 60,4 milhões de habitantes, por exemplo. (ISTAT, 2019). Permanecer assim, com elevadas perdas e sem investimentos, é insustentável economicamente e ambientalmente.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, Helena *et al.* **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água.** [S. l.]: Laboratório Nacional de Engenharia Civil; Instituto Regulador de Águas e Resíduos; International Water Association, set. 2004. Disponível em: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ersar_indicadores_de_desempenho_para_servicos_de_abastecimento_de_agua_2004.pdf. Acesso em: 4 mai. 2019.

AQUASFERA. **Uso da tecnologia na redução de perdas em Limeira (SP).** [S.l.]: Aquasfera, [2018?]. Disponível em: <https://cebds.org/aquasfera/projeto/tecnologias-para-uso-tratamento-e-reducao-de-perdas/>. Acesso em: 21 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). **Perdas em sistemas de abastecimento de água:** diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. [S.l.]: ABES, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16052-Perdas-em-sistemas-de-abastecimento-de-agua-diagnostico-potencial-de-ganhos-com-sua-reducao-e-propostas-de-medidas-para-o-efetivo-combate.html>. Acesso em: 27 out. 2019.

_____. **Controle e redução das perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água:** posicionamento e contribuições técnicas da ABES. [S.l.]: ABES, 2015. Disponível em: http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf. Acesso em: 18 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12218:** Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRASIL; CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 08 mai. 2019.

_____; _____. **Portaria de consolidação 05, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2019.

BRASIL; MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Brasília: Ministério das Cidades, 2013. Disponível em: http://www.urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/plansab_texto_aprovado.pdf. Acesso em: 25 out. 2019.

COELHO, Márcia Maria Lara Pinto; LIBÂNIO, Marcelo. Reservação. In: HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 789-816.

COLANTONIO, Robson. **Estudo e implementação de um medidor de vazão eletromagnético para pesquisa na área de circulação assistida**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://maua.br/files/dissertacoes/estudo-implementacao-medidor-vazao-eletromagnetico-para-pesquisa-area-circulacao-assistida-051712.pdf>. Acesso em: 13 out. 2019.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (DMAE). **Despacho**. Porto Alegre: DMAE, 2019.

DUQUECH, Paulo. **Saneamento: Pipe Bursting para substituição de tubulações**. Infraestrutura urbana, [s.l.], ed. 39, 2014. Disponível em: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/39/pipe-bursting-para-substituicao-de-tubulacoes-312877-1.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ELIPSE KNOWLEDGEBASE. **Sistemas SCADA na automação do saneamento**. [S.l.]: Elipse knowledgebase, 2019. Disponível em: <https://kb.elipse.com.br/sistemas-scada-na-automacao-do-saneamento/>. Acesso em: 15 out. 2019.

FERREIRA, Gisele da Silva; MENEZES, Daiane Boelhouver. **Relatório de análise socioeconômica da cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: <https://www.fee.rs.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/20170209relatorio-analise-socioecon0mica-da-cidade-de-porto-alegre-12017.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2. ed. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf. Acesso em: 27 abr. 2019.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA (UNICEF). **2,1 bilhões de pessoas não tem acesso a água potável em casa, e mais do dobro de pessoas não tem acesso a saneamento seguro**. Genebra/Nova Iorque: UNICEF, 2017. Disponível em: <https://www.unicef.org/angola/comunicados-de-imprensa/21-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-t%C3%AAm-acesso-%C3%A1gua-pot%C3%A1vel-em-casa-e-mais-do-dobro>. Acesso em: 23 mar. 2019.

GAMEIRO, Antonio Gil Fernandes. **Avaliação de métodos de determinação de consumo de água potável e de dimensionamento de hidrômetro: Estudo de caso em Londrina/PR**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2007. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/34.pdf>. Acesso em: 13 out. 2019.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. E-book. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2019.

GLDS. **Mas o que é um geofone?** [S.l.]: GLDS - Geofones Digitais, [2019?]. Disponível em: <https://glds.com.br/>. Acesso em: 01 jun. 2019.

GOMES, Ricardo de Jesus. **Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água**. 2011. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011. Disponível em: [https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/17988/3/Tese_Ricardo %20Gomes.pdf](https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/17988/3/Tese_Ricardo%20Gomes.pdf). Acesso em: 10 mai. 2019.

GUEDES, Hugo Alexandre Soares. **Reservatório de Distribuição de Água**. [2019?]. 37 slides. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/10/Aula-6-Reservat%C3%B3rios.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2019. il. color.

HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

_____. **Sistema de abastecimento de água**. Unidades componentes. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 74 p., il p&b.

_____. **Sistema de abastecimento de água**. Unidades componentes. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 101 p., il p&b.

INOVAÇÃO e tecnologia ajudam a aprimorar o saneamento básico. *In: Portal G1*. [S./], 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/inovacao-e-tecnologia-ajudam-a-aprimorar-o-saneamento-basico.ghtml>. Acesso em: 30 mai. 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Limeira, SP**: panorama: população; território. [S./]: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/limeira/panorama>. Acesso em: 10 nov. 2019.

_____. **Porto Alegre, RS**: panorama: população; território. [S./]: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>. Acesso em: 10 nov. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **População das cidades médias cresce mais que no resto do Brasil**. Brasília: Secretária de Assuntos Estratégicos, 2008. Disponível em: https://web.archive.org/web/20090819081149/http://www.ipea.gov.br/003/00301009.jsp?ttCD_CHAVE=5499. Acesso em: 10 nov. 2019.

INSTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA (ISTAT). **Resident Population**. Itália: Istat, 2019. Disponível em: <https://www.istat.it/en/>. Acesso em 12 nov. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **O que é saneamento?** [S./]: Trata Brasil, [2019?]. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/o-que-e-saneamento>. Acesso em: 28 mar. 2019.

_____. **Perdas de água 2018 (SNIS 2016)**: Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. [S./]: Trata Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2019.

_____. **Perdas de água 2019 (SNIS 2017)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. [S./]: Trata Brasil, 2019a. Disponível

em: http://tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/Estudo_de_Perdas_2019.pdf. Acesso em: 02 jun. 2019.

_____. **Perdas de água potável seriam suficientes para abastecer 30% da população brasileira por um ano.** [S.l.]: Trata Brasil, 2019b. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/Release_Perdas_de_%C3%81gua.pdf. Acesso em: 10 nov. 2019.

ITRON. **City of North Miami Beach, Florida.** Estados Unidos: Itron, [2019?]. Disponível em: <https://www.itron.com/-/media/resources/case-studies/itron-city-of-north-miami-beach-florida-case-study.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

KURODA, Emilia Kyiomij; PÁDUA, Valter Lucio de. Tubulações e acessórios. In: HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lucio de (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 683-740.

LEME, Francilio Paes. **Engenharia do saneamento ambiental.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

LIMEIRA. Prefeitura Municipal. **Serviço ao Turista - Limeira: Município de Interesse Turístico.** Limeira: Prefeitura Municipal, [2019?]. Disponível em: <https://www.limeira.sp.gov.br/sitenovo/service.php?servico=3&categoria=null&item=null&conteudo=299>. Acesso em 10 nov. 2019.

LOPES, Emerciano Jany Brito. **Gestão de pressões em redes de distribuição de água – Caso Santa Maria da Feira.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão da Água) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Nova Lisboa, Nova Lisboa (PT), 2013. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/12036/1/Lopes_2013.pdf. Acesso em: 3 mai. 2019.

LOUREIRO, Dália; ÁLVARES, Altino; COELHO, Sérgio T. Aplicação de sistemas de telemetria domiciliar em sistemas de distribuição de água. In: CONFERÊNCIA INSSAA, Barcelos (PT), 2007. **Anais...** Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268363025_APLICACAO_DE_SISTEMAS_DE_TELEMETRIA_DOMICILARIA_EM_SISTEMAS_DE_DISTRIBUICAO_DE_AGUA. Acesso em: 22 jun. 2019.

MADEIRA, Daniel. **Medição de vazão eletromagnético - Parte 1.** Embarcados, [s.l.], 2016. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/medidor-de-vazao-eletromagnetico-parte-1/>. Acesso em: 20 out. 2019.

MELATO, Débora Soares. **Discussão de uma metodologia para diagnóstico e ações para redução de perdas de água:** aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010-092608/publico/Dissertacao_Debora_S_Melato.pdf. Acesso em: 12 set. 2019.

MELLO, Elton J. **Serviço de telemetria para gestão e monitoramento da micromedição em grandes consumidores do DMAE.** 2012. 39 slides. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/emello/telemetria-apresentao-2013i/24>. Acesso em: 17 out. 2019.

MIRANDA, Ernani Ciriaco. **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água – indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade**. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002. Disponível em: <https://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/04/Ernani-Cir%C3%ADaco-2002.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2019.

_____. Gerenciamento de perdas de água. In: HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 789-816.

MTS PERFORATOR. Pipe bursting / Pipe cracking / Pipe pulling - How it works - www.mtsperforator.com. [S.l.: s.n], 9 jun. 2016. 1 vídeo (3m31s). Publicado pelo canal MTS Perforator GmbH. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qUN3dUWn_os. Acesso em: 14 jun. 2019.

NAKAMURA, Juliana. **Dimensionamento de hidrômetros é decisivo para racionalizar o consumo de água**. AECweb, [s.l., 2019?]. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/dimensionamento-de-hidrometros-e-decisivo-para-razionalizar-o-consumo-de-agua_18752_10_19. Acesso em: 16 jun. 2019.

NETTO, José Martiano de Azevedo; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Blucher, 2018. E-book. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=ejtRDwAAQBAJ&pg=PA422&lpg=PA422&dq=subadutoras&source=bl&ots=1tA7KdawGn&sig=ACfU3U2eN8TklqjX7-BZOV0814GEFMMRJJQ&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwistNyHlr7hAhX_IbkGHeCtAgsQ6AEwEXoECAcQAQ#v=onepage&q=subadutoras&f=false. Acesso em: 12 abr. 2019.

NOVAES, Luciano Farias de; BRESSANI, Fabrício. Importância da pitometria no sistema de abastecimento de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICO, 28, [S.l.], [2009?]. **Anais...** Disponível em: <https://docplayer.com.br/4972584-Importancia-da-pitometria-no-sistema-de-abastecimento-de-agua.html>. Acesso em: 20 out. 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global**. [S.l.]: Nações Unidas Brasil, 2014. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/oms-para-cada-dolar-investido-em-agua-e-saneamento-economiza-se-43-dolares-em-saude-global/>. Acesso em: 23 mar. 2019.

PÁDUA, Valter Lucio de. Introdução ao Tratamento de água. In: HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lucio de (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 519-570.

PAIM, Amanda. **Turismo de negócio aquece a economia da capital gaúcha**. SEBRAE RS, [s.l., 2017]. Disponível em: <https://sebraers.com.br/turismo/turismo-de-negocios-aquece-a-economia-da-capital-gaucha/>. Acesso em: 10 nov. 2019.

PRINCE, Aloisio de Araújo. Captação de água de superfície. In: HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lúcio de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 329-382.

_____. Rede de Distribuição. In: HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lúcio de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 603-681.

RACAZA. **Vantagens PEAD x PVC**. [S.l.]: Racaza, 2015. Disponível em: www.racaza.com.br/artigos-e-dicas/vantagens-pead-x-pvc/. Acesso em: 16 out. 2019.

SANESOLUTI. **Correlacionador de ruídos - Correlux P250**. [S.l.]: Sanesoluti, [2019?]. Disponível em: <https://sanesoluti.com.br/produto/correlacionador-de-ruido-correlux/>. Acesso em: 15 out. 2019.

SANTANA, Felipe Baldin. **Privatização do Saneamento Básico no Brasil**: um estudo de caso da cidade de Limeira - SP. 2015. Artigo (Bacharelado em Gestão do Agronegócio) - Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwib2_Hd2NjIAhUBJrkGHUePAGQQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fwww.bibliotecadigital.unicamp.br%2Fdocument%2F%3Fdown%3D000958821&usq=AOvVaw0anM9DVMmfUh21L6zMxhV_. Acesso em: 22 mar. 2019.

SEBAKMT. **Operating manual digital correlator Correlux P250**. Alemanha: SEBAKMT, 2010. Disponível em: https://elma.dk/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2ffiles%2ffiles%2fdocuments%2fecom%2fManuals%2f5706445940639_man.pdf. Acesso em: 15 out. 2019.

SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO (SAMAÉ). **Apostila Ajustador de Hidrômetros**. Caxias do Sul: SAMAÉ, [2019?]. Disponível em: <https://samaecaxias.com.br/Upload/CONCURSOS/CONCURSO/Apostila%20Ajustador%20de%20Hidr%C3%B4metros.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

SHINTATE, Luiz; REGO, Antônio Carlos; GONDO, José Yazo. Hidrômetros. In: TSUTIYA, Milton Tomoyuki (Org). **Abastecimento de água**. 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidades de São Paulo, 2006. p. 543-560.

SILVA, Cristina Mendes. **Análise das perdas de água em um sistema público de abastecimento**: enfoque na influência da classe metrológica e do tempo de uso dos hidrômetros. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/89268542-Analise-das-perdas-de-agua-em-um-sistema-publico-de-abastecimento-enfoque-na-influencia-da-classe-metrologica-e-do-tempo-de-uso-dos-hidrometros.html>. Acesso em: 13 out. 2019.

SILVA JUNIOR, João Ferreira. **Detecção de perdas em sistemas de distribuição de água através de redes de sensores sem fio**. 2017. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/294_JoaoSilvaJunior/d8a59b12-770c-4424-b03d-2f31a709bd68. Acesso em: 30 mar. 2019.

SINICO, Marco Cesar. **Controle de Perdas**. 2009. 60 slides. Disponível em: <http://abconsindcon.com.br/wp-content/uploads/2018/05/1%C2%BA-ENA-Controle-de-Perdas-%C3%81guas-de-Limeira.pdf>. Acesso em: 15 de out. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Ministério do Desenvolvimento Regional publica diagnósticos da situação do saneamento no Brasil**. [S./]: SNIS, 2019a. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/component/content/article?id=175>. Acesso em: 22 mar. 2019.

_____. **Série Histórica**. [S./]: SNIS, 2019b. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 22 mar. 2019.

SONDEQ. **Correlacionador de ruídos**. [S./]: SONDEQ, [2019a?]. Disponível em: http://www.sondeq.com.br/pt/nd_controle_correl.php. Acesso em: 01 jun. 2019.

_____. **Geofone eletrônico**. [S./]: SONDEQ, [2019b?]. Disponível em: http://www.sondeq.com.br/pt/nd_controle_geofone.php. Acesso em: 15 out. 2019.

_____. Atendimento (vendas). **Geofones e Correlacionadores**. Destinatário: Stéfanie Schütz Bohrer. SONDEQ, 2019c. 4 mensagens eletrônicas.

SOUZA JÚNIOR, José do Carmo. **Distrito de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2014. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257966/1/SouzaJunior_JosedoCarmode_M.pdf. Acesso em: 17 out. 2019.

SPOLAOR, Antônio Sérgio. **Automação nos sistemas de abastecimento de água**. Caso do controle da reservação de distribuição. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2011. Disponível em: http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258162/1/Spolaor_AntonioSergio_M.pdf. Acesso em: 13 out. 2019.

TAMAKI, Humberto Oyamada; SILVA, Gisele Sanches da; GONÇALVES, Orestes Marraccini. **A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais: estudo de caso na Universidade de São Paulo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n.1, p. 63-74, jan./mar. 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3680/2046>. Acesso em: 23 jun. 2019.

TAKADU. **About us**. [S./]: TAKADU, 2019a. Disponível em: <https://www.takadu.com/company>. Acesso em: 15 jun. 2019.

_____. **From a hidden leak to great customer service: CEM in action.** Estados Unidos: TAKADU, 2019b. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/ea34fd_883427307fdd455095f4c75865b03838.pdf. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. **Uma solução IoT comprovada para o setor de águas.** [S.l.]: TAKADU, [2019c?]. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/ea34fd_cb271054d4364139a3c2ce07f71be09e.pdf. Acesso em: 28 out. 2019.

TARDELLI FILHO, Jairo. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, Milton Tomoyuki (Org). **Abastecimento de água.** 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidades de São Paulo, 2006. p. 457-525.

TOMAZ, Plínio. **Rede de água.** São Paulo: Navegar Editora, 2011.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água.** 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidades de São Paulo, 2006.

TUBULAÇÃO de água feita de amianto preocupa Prefeitura de Santa Isabel. In: Portal G1. [S.l.] 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/mogi-das-cruzes-suzano/noticia/2015/03/tubulacao-de-agua-feita-de-amianto-preocupa-prefeitura-de-santa-isabel.html>. Acesso em: 30 mar. 2019.

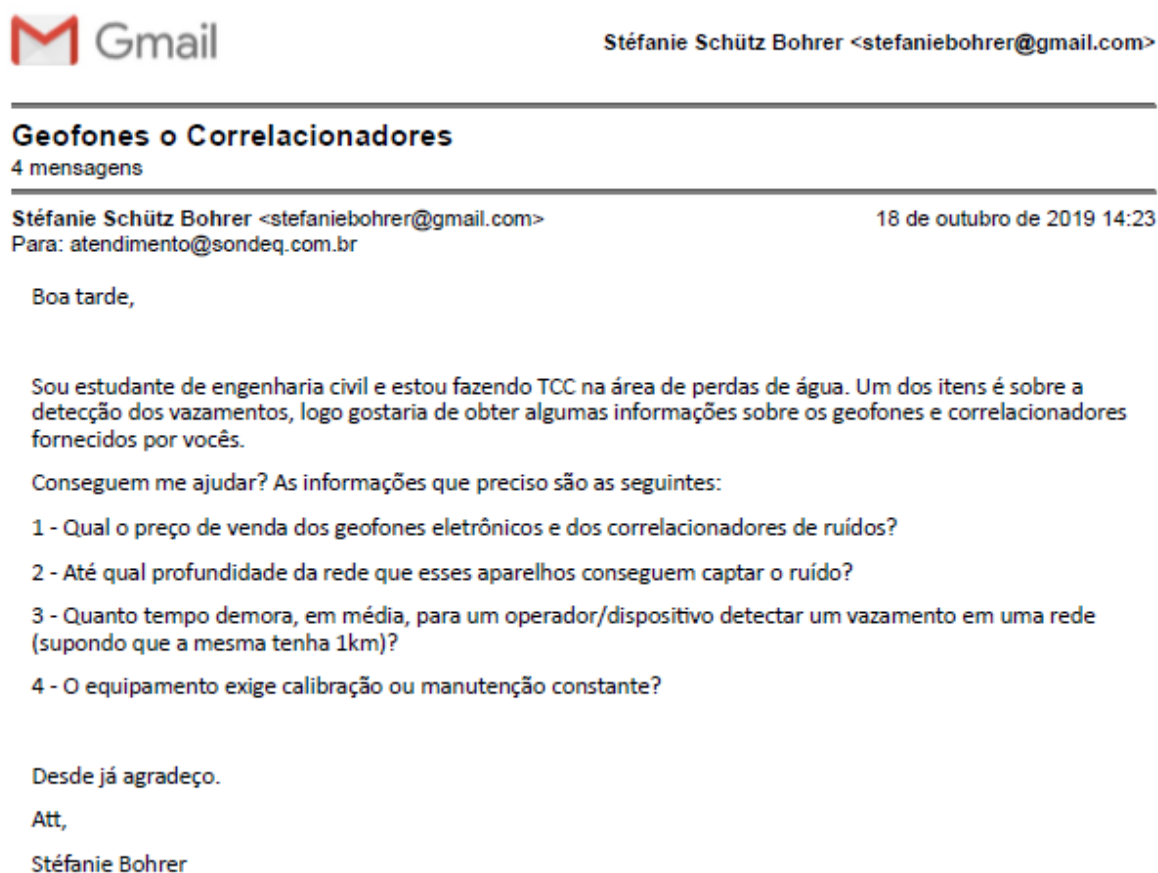
VICENTINI, Líliliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03072013-151444/publico/Dissertacao_Perdas_LPV.pdf. Acesso em: 12 set. 2019.

VILAS-BOAS, Pedro Ricardo. **Modelação de uma rede de distribuição de água.** 2008. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto (PT), 2008. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/58016/1/000129459.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

APÊNDICE A - INFORMAÇÕES DA SONDEQ SOBRE GEOFONES E CORRELACIONADORES

Neste apêndice será apresentado a troca de e-mails entre a autora e a empresa SONDEQ, onde consta algumas informações sobre os geofones e os correlacionadores de ruído encontradas nos itens 4.1.1 e 4.1.2 deste trabalho:

Figura 16 - E-mail 1: Contato e questionamento inicial



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17 - E-mail 2: Respostas da empresa

Atendimento <atendimento@sondeq.com.br>
Para: Stéfanie Schütz Bohrer <stefaniebohrer@gmail.com>

21 de outubro de 2019 13:27

Prezada Stéfanie

Em relação ao seu questionamento, favor ver respostas abaixo.

1 - Qual o preço de venda dos geofones eletrônicos e dos correlacionadores de ruídos?

R: Um Geofone de primeira linha custa entre R\$ 15.000,00 e R\$ 60.000,00 e um correlacionador a partir de R\$ 120.000,00

2 - Até qual profundidade da rede que esses aparelhos conseguem captar o ruído?

R: Geofones dificilmente conseguem escutar a mais de 2,0 metros de profundidade mesmo em solos compactados e rede com alta pressão. Já o correlacionador como a propagação do som do ruído do vazamento se dá pela parede do tubo independe a profundidade do mesmo.

3 - Quanto tempo demora, em média, para um operador/dispositivo detectar um vazamento em uma rede (supondo que a mesma tenha 1km)?

R: É difícil determinar, supondo que só exista apenas 1 vazamento, se utilizar um Geofone, provavelmente 1 hora ou menos.

4 - O equipamento exige calibração ou manutenção constante?

R: Não, apenas manutenção corretiva quando necessário.

À disposição, cordialmente,

Equipe de Vendas

SONDEQ

mnd@sondeq.com.br

+55 (11) 3123-5025

[Texto das mensagens anteriores oculto]

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18 - E-mail 3 e 4: Dúvida e respostas finais

Stéfanie Schütz Bohrer <stefaniebohrer@gmail.com> 21 de outubro de 2019 16:21
Para: Atendimento <atendimento@sondeq.com.br>

Prezados,

Obrigada pelo respostas!

Porém ainda me resta uma última dúvida:

Com relação ao tempo para encontrar um vazamento em um quilometro, o Geofone demora no máximo 1 hora. Mas e se utilizar o Correlacionador, demoraria mais ou menos tempo?

Att,

Stéfanie Bohrer

[Texto das mensagens anteriores oculto]

Atendimento <atendimento@sondeq.com.br> 21 de outubro de 2019 16:25
Para: Stéfanie Schütz Bohrer <stefaniebohrer@gmail.com>

O tempo de cálculo é de menos de 10 min, porém vai levar 30-40 para instalá-lo e medir a distância, então na prática daria mais ou menos o mesmo

[Texto das mensagens anteriores oculto]

Fonte: Elaborado pela autora.

ANEXO A - ALGUNS DADOS OBTIDOS COM O DMAE

A seguir, serão apresentadas algumas confirmações de respostas dadas pelo DMAE, via e-mail, após a visita técnica realizada pela autora.

Figura 19 - Documento com as informações fornecidas pelo DMAE



**DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS
EQUIPE DE APOIO TÉCNICO DE PERDAS - C-PERDAS/GDCO/DMAE
DESPACHO**

À UCS:

Conforme SEI 8415969, informamos que recebemos a estudante na data de 14/10/2019, as 14 horas, onde realizamos a visita técnica solicitada.

Para fins de formalização deste expediente, respondemos abaixo as solicitações da estudante, advindas do e-mail 8557871, de informações sobre o projeto de Distritos de Medição e Controle referentes a Carta Consulta 2101.A.3010, conforme segue:

"Investimento a ser realizado (eu anotei R\$ 40mil/km para correção de perdas físicas ou R\$60mil/km para correção de perdas físicas e comerciais. Confere?)"

O investimento a ser realizado em perdas físicas, perdas comerciais, centro de controle operacional (automação e telemetria) e trabalho técnico social está estimado entre 40 e 60 mil reais por quilômetro de rede distribuidora, sendo que o valor depende das alternativas do projeto executivo a ser contratado, dentro do escopo proposto na carta consulta do Ministério das Cidades.

"Tempo de retorno do investimento (no programa piloto foi em 1 ano, mas a estimativa para a escala real é de 2 anos. Isso?)"

O tempo de retorno do investimento do projeto piloto em perdas físicas foi de um (01) ano. Para o investimento proposto em uma ideia ampla do programa de redução de perdas de água (perdas físicas, perdas comerciais, centro de controle operacional e trabalho técnico social) a estimativa proposta é de 2 a 3 anos.

"Expectativa para redução de perdas (Perdas físicas reduzirão 250L a cada 1000km. Perdas Comerciais reduzirão 5% do total. Procede?)"

Perdas físicas: Estimativa de recuperação de vazão de 0,25 litros/segundo por quilômetro de rede distribuidora.

Perdas Comerciais: previsão de recuperação de vazão de 5,44% sobre o valor macromedido inicial.

"Além disso, outra dúvida que me surgiu. Refere-se a troca da tubulação por material PEAD: Como é escolhido as regiões que serão trocadas? Existe uma política e metas anuais para isso, ou vão se realizando as mudanças a medida que as tubulações antigas apresentam defeitos?"

As substituições de rede obedecem a critérios definidos por instrução de trabalho, sendo considerado um sistema de pontuação que leva em conta os seguintes critérios:

- 1- Falta de água/baixa pressão/problemas de abastecimento;
- 2- Impossibilidade/dificuldade de manutenção;

Fonte: DMAE (2019).

Figura 20 - Documento com as informações fornecidas pelo DMAE (continuação)

- 3- Índice de fugas;
- 4- Perdas de água;
- 5- Material obsoleto;
- 6- Falta de setorização.



Documento assinado eletronicamente por **Ronald Quevedo Schutz, Técnico Responsável**, em 05/11/2019, às 09:44, conforme o art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006, e o Decreto Municipal 18.916/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <http://sei.procempa.com.br/autenticidade/seipmpa> informando o código verificador 8591356 e o código CRC **D1DDBCf3**.