

FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO

MBA – Saneamento Ambiental

Alex Orellana

**Resultados obtidos em redução de perdas em obras de substituição de
tubulações de distribuição de água**

São Paulo

2021

Alex Orellana

Resultados obtidos em redução de perdas em obras de substituição de tubulações de distribuição de água

Artigo apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob a orientação do professor Antônio Sodré, Ph.D.

São Paulo

2021

Catálogo-na-Publicação – Biblioteca FESPSP

628.144

O66r Orellana, Alex.

Resultados obtidos em redução de perdas em obras de substituição de tubulações de distribuição de água / Alex Orellana. – 2021.

32 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Professor Antônio Sodré, PhD.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização: *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental) – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

Bibliografia: p. 32.

1. Envelhecimento das tubulações. 2. Perdas de água. 3. Substituição de tubulações de distribuição. 4. Avaliação de resultados. I. Sodré, Antônio. II. Título.

CDD 23.: Sistemas de distribuição de água 628.144
Elaborada por Éderson Ferreira Crispim CRB-8/9724

Alex Orellana

Resultados obtidos em redução de perdas em obras de substituição de tubulações de distribuição de água

Artigo apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob a orientação do professor Antônio Carlos de Azevedo Sodré, Ph.D.

Data da aprovação:

___/___/_____

Banca Examinadora:

Francisco de Assis Souza Dantas

Luis Antônio de Oliveira Júnior

RESUMO

Diversos operadores de sistemas de distribuição de água estão confrontando-se com a importante tarefa de reabilitar as tubulações de abastecimento de água. O envelhecimento das tubulações leva a aumentos na frequência de vazamentos, nos custos de operação e manutenção, nos problemas de regularidade do fornecimento de água, na qualidade da água e, principalmente, no volume de água perdida. Diante da complexidade do tema e sua relevância para os programas de redução de perdas, é fundamental a realização de avaliações em relação aos resultados obtidos nas obras de reabilitação da infraestrutura de abastecimento, principalmente a substituição de tubulações de distribuição de água, de forma a fornecer subsídios técnicos aos estudos de viabilidade de novas obras. O objeto deste trabalho é apresentar os resultados obtidos em redução de perdas nas obras de substituição de tubulações de distribuição do Programa Corporativo de Redução de Perdas da Sabesp, avaliando seu impacto nos indicadores de desempenho e no volume médio recuperado com essa ação, de forma a comprovar a viabilidade técnica das obras e subsidiar os estudos de viabilidade de obras futuras.

Palavras-chave: envelhecimento das tubulações, perdas de água, substituição de tubulações de distribuição, avaliação de resultados.

Abstract

Several water distribution system operators are facing the important task of rehabilitating water supply networks. The aging of pipes leads to increases in the frequency of leaks, in operation and maintenance costs, in problems with regularity of water supply, in water quality and, above all, in the volume of water lost. Given the complexity of the topic and its relevance to loss reduction programs, it is essential to carry out evaluations in relation to the results obtained in the renovation works of the supply infrastructure, especially the replacement of water distribution networks, in order to provide technical subsidies for feasibility studies for new works. The object of this work is to present the results obtained in reducing losses in the works of replacement of distribution networks of Sabesp's Corporate Loss Reduction Program, evaluating its impact on performance indicators and on the average volume recovered with this action, in order to prove the technical feasibility of the works and subsidize the feasibility studies of future works.

Key words: aging of pipes, water losses, replacement of distribution networks, evaluation of results.

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1	Balanço hídrico adotado pela Sabesp..... 16
Figura 2	Componentes do controle de perdas reais..... 22
Figura 3	Componentes do controle de perdas aparentes..... 24

LISTA DE TABELAS

		página
Tabela 1	Painel Gerencial – VRP Astorga.....	29
Tabela 2	Painel Gerencial – VRP Antônio Juvenal.....	30
Tabela 3	Painel Gerencial – Setor Casa Verde.....	31
Tabela 4	Painel Gerencial – VRP Ana Ribeiro.....	32

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. DESENVOLVIMENTO	12
2.1 A deterioração do desempenho dos sistemas de distribuição de água	12
2.2 O que são as perdas de água	14
2.3 Indicadores de perdas	16
2.3.1 Indicador percentual	17
2.3.2 Índice de Perdas por Ligação	17
2.3.3 Método das Vazões Mínimas Noturnas	18
2.4 Causas das perdas	20
2.5 Perdas reais ou perdas físicas	20
2.6 Perdas aparentes ou perdas não físicas	22
3 Apresentação da Metodologia	26
4 Resultados Obtidos	28
4.1 VRP Astorga	29
4.2 VRP Antônio Juvenal	30
4.3 Setor Casa Verde	31
4.4 VRP Ana Ribeiro	32
5 CONCLUSÃO	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água são um conjunto de infraestruturas, equipamentos e instalações com a finalidade de prover água, atendendo a requisitos técnicos de disponibilidade, quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano. O envelhecimento natural dos sistemas de abastecimento de água é inevitável e, principalmente as tubulações, que são os componentes de maior complexidade e influência no resultado final do processo de distribuição de água tratada, se traduz na ocorrência de vazamentos e interrupções do abastecimento cada vez mais frequentes, um elevado volume de perdas reais de água, problemas de qualidade da água, pressão de serviço abaixo da mínima recomendada e elevados custos de manutenção corretiva e emergencial. Neste contexto, uma grande parcela dos investimentos atuais e futuros em sistemas de abastecimento de água deverá ser em programas de reabilitação de infraestruturas hidráulicas.

Diante desse cenário os gestores dos serviços de saneamento são confrontados com a necessidade de continuar investindo na expansão da infraestrutura para atender à crescente demanda por água tratada e iniciar a reabilitação da existente, que na maioria dos casos é mais onerosa e de execução mais complexa que a implantação de um novo sistema, tornando a reabilitação dos sistemas de distribuição de água uma questão estratégica para os operadores desses sistemas, pois se há consenso sobre os efeitos negativos gerados pela deterioração das tubulações de distribuição, não há a mesma certeza quanto aos resultados que serão obtidos com a reabilitação da infraestrutura.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de avaliação de resultados, aplicada em obras de substituição de tubulações de distribuição de água e os resultados obtidos na redução das perdas reais, fornecendo subsídios técnicos para utilização em estudos de viabilidade técnica de futuras intervenções semelhantes.

Para tanto, neste trabalho, inicialmente é feita a fundamentação das consequências do envelhecimento dos sistemas de abastecimento água para o seu

desempenho técnico, na sequência são apresentados os principais conceitos relacionados às perdas de água em sistemas de abastecimento, permeando suas causas, os principais indicadores utilizados, e as principais ações para o controle e redução das perdas.

Para essa aplicação, foram selecionadas quatro obras de substituição de tubulações de distribuição do Programa Corporativo de Redução de Perdas da Sabesp, onde a metodologia de avaliação de resultados foi utilizada.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos nos principais indicadores de perdas nas áreas objeto das obras de substituição de tubulações de distribuição de água.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 A deterioração do desempenho dos sistemas de distribuição de água

Segundo Alegre et al. (2006), infraestruturas hídricas fornecem um serviço essencial e atemporal para as comunidades. Contudo, essas infraestruturas são compostas de bens com vidas úteis finitas, variáveis de ativo para ativo, com nível de desempenho decrescente com o tempo. Inversamente, cada componente é parte de um sistema integrado, e seu comportamento poderá afetar o nível global do serviço.

A tubulação de distribuição de água, que é tipicamente o componente mais caro de um sistema de abastecimento, está continuamente sujeita a condições ambientais e operacionais que levam à sua deterioração. Maiores custos de operação e manutenção, perdas de água, redução na qualidade da água e do serviço são resultados típicos da deterioração (Kleiner et al., 2001).

Ainda segundo Alegre et al. (2006), muitos sistemas de abastecimento existentes atingiram sua vida útil e os investimentos de capital necessários para reabilitá-los são elevados. A reabilitação de um sistema de distribuição de água pode ser motivada não somente pelo envelhecimento ativo, mas também por uma combinação de outros fatores concorrentes, tais como o desempenho hidráulico insatisfatório, os problemas de qualidade de água, a necessidade de expansão, a confiabilidade insuficiente e um alto nível de perdas de água.

As tubulações de distribuição de água, desde as linhas primárias e secundárias, até os ramais prediais, têm uma vida útil que depende muito da qualidade do material empregado, das condições físico-químicas do solo, da mão de obra que executou os serviços e das proteções contra o fenômeno da corrosão, para os casos de tubulações metálicas. Considerando-se uma vida útil em torno de 50 anos, em geral, para as tubulações primária e secundárias, sendo que, as conexões domiciliares (ramais) são mais suscetíveis às variáveis mencionadas, podendo ter uma vida útil bem menor do que as tubulações das tubulações, é de se esperar que um programa de substituição de tubulações adote uma taxa anual de substituição de 2% da extensão total da tubulação, normalmente incluindo a

substituição concomitante dos ramais. A substituição de tubulações é uma intervenção muito cara, na medida em que a maioria das obras se desenvolve em áreas densamente urbanizadas e exige a utilização de métodos construtivos não destrutivos (Tardelli, 2004).

O envelhecimento e a reabilitação das tubulações de distribuição de água também influenciam nas perdas. As perdas reais, ou seja, as perdas devido às rupturas nas tubulações de distribuição de água aumentam na medida em que os sistemas de distribuição se tornam mais velhos. Porém tendem a diminuir conforme os sistemas são reabilitados. Assim, as perdas reais devem ser tidas em conta, juntamente com os custos de manutenção e confiabilidade, uma vez que são afetadas pelas ações de reabilitação (Alvisi, 2009).

Em muitos sistemas um programa de substituição de tubulações irá resolver o problema de um grande volume de perdas, pois em muitos casos, os maiores volumes anuais de perdas reais residem nos menores vazamentos nas linhas de distribuição que ocorrem por longos períodos sem que sejam detectados ou declarados. Além disso, na maioria das vezes, a substituição da tubulação ou dos ramais de serviço reduz a frequência de novas falhas e, conseqüentemente, reduz os custos anuais de manutenção e a frequência necessária para a atividade de detecção preventiva de vazamentos (Thornton et al., 2008).

Segundo Marinis et al. (2008) um problema frequente que surge é a seleção de qual solução deverá ser adotada, a fim de prestar um serviço adequado e, simultaneamente, minimizar os custos da reabilitação. Esta decisão pode ser facilitada, considerando o volume de água que deixou de ser fornecido para os consumidores, por causa da estrutura inadequada do sistema, o que representa uma fonte de receita perdida para as empresas de abastecimento. Este custo é avaliado em função do nível de inadequação do sistema hidráulico e do custo unitário da água.

A Reabilitação das tubulações de um sistema de abastecimento de água representa às empresas operadoras, um grande desafio técnico e estratégico, bem como um enorme fardo financeiro. Por esta razão, uma eficaz e pró-ativa gestão de

ativos tem assumido um papel muito importante nos últimos anos para os operadores dos sistemas de abastecimento. (Poultron et al., 2009).

Ainda segundo Thornton et al. (2008), de uma perspectiva de redução das perdas de água a decisão de reabilitar uma tubulação muitas vezes pode ser feita em função do custo benefício, embora haja outros fatores que muitas vezes influenciam a decisão, tais como; as considerações ambientais, as preocupações com a saúde, os problemas estruturais, os riscos de emergência, o crescimento da procura, a redução da capacidade hidráulica e a falta de fontes alternativas.

2.2 O que são as perdas de água

Segundo Tardelli (2004), as perdas de água são inerentes aos sistemas de abastecimento, especialmente nas tubulações de distribuição e estão diretamente ligadas às condições da infraestrutura instalada e à eficiência operacional e comercial na gestão dos sistemas de abastecimento. Basicamente, essas perdas correspondem à diferença entre o volume total de água produzido nas estações de tratamento e a soma dos volumes entregues a todos os consumidores, os quais são medidos, mensalmente, por meio dos hidrômetros instalados nos imóveis dos mesmos. É importante esclarecer que as perdas de água são divididas em duas parcelas: as perdas reais ou físicas e as perdas aparentes ou não físicas. As perdas reais correspondem aos volumes que não são consumidos por serem perdidos em vazamentos no percurso feito pela água, desde as estações de tratamento até os pontos de entrega nos imóveis dos clientes. Esses vazamentos ocorrem, principalmente, devido ao envelhecimento das tubulações e às elevadas pressões. Essas perdas representam efetivamente o desperdício de recursos hídricos, além de custos para os operadores dos serviços de abastecimento. Já as perdas aparentes correspondem aos volumes de água que são consumidos, mas não são contabilizados pelo operador, principalmente devido às irregularidades e à submedição dos hidrômetros. Portanto, as perdas aparentes representam, basicamente, a perda de faturamento do operador, não devendo ser confundida com a parcela de perda real, que corresponde ao recurso hídrico não consumido.

O Balanço Hídrico de um sistema de abastecimento apresenta a subdivisão do volume de água produzida em parcelas que representam os volumes de entrada ou de saída do sistema, em um dado período de tempo. É uma ferramenta padronizada pela IWA (International Water Association), associação internacional que congrega os maiores especialistas mundiais em controle de perdas, para análise das parcelas de consumo e de perdas, permitindo identificar os componentes das perdas de água de um sistema de abastecimento. Internacionalmente, o conceito de NRW – Non Revenue Water ou Águas Não Faturadas – já está bem difundido pela IWA, sendo atualmente o indicador mais utilizado para comparar diferentes sistemas de abastecimento (Tardelli, 2004).

A Figura 1 apresenta o balanço hídrico adotado pela Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, expresso em volume (milhões de m³).

Figura 1: Balanço Hídrico adotado pela Sabesp

Balanço Hídrico - SABESP - Vazões (m³/s)					
Produzido Sistema Integrado	Produzido	Autorizado	Entregue às permissionárias		Água comercializada
			Autorizado comercializado	Micromedido hidrômetros de grande capacidade	
				Micromedido hidrômetros de pequena capacidade	
			Autorizado não comercializado	Uso social	
				Uso emergencial	
Uso público					
Uso próprio					
Produzido Sistema Isolado	Perda	Perda	Uso operacional na adução		Água não comercializada
			Perda aparente	Submedição	
				Consumo não autorizado	
				Falha no cadastro comercial	
			Perda real	Vazamento	
Extravasamento					

Fonte: Balanço Executivo do Programa Corporativo de Controle de Perdas da Sabesp (2020)

2.3 Indicadores de perdas

Os indicadores permitem retratar a situação das perdas, gerenciar a evolução dos volumes perdidos, redirecionar ações de controle, em princípio, comparar sistemas de abastecimento de água distintos. Existem diversos indicadores de perdas, os quais devem ser analisados em conjunto para a obtenção de um diagnóstico mais preciso do sistema de abastecimento em questão (Tardelli, 2004).

2.3.1 Indicador percentual

De acordo com Tardelli (2004), é o indicador mais utilizado e o mais fácil de ser compreendido, relacionando o volume perdido com o volume total produzido ou disponibilizado ao sistema, em bases anuais. Contudo, apresenta a desvantagem de não permitir a comparação de performance entre sistemas diferentes. Dois sistemas distintos, que apresentam um mesmo volume perdido, podem gerar índices de perdas diferentes em função de algumas características específicas dos sistemas, tais como, a predominância de grandes consumidores em um sistema em contrapartida a um padrão preponderante de consumidores residenciais em outro, consumos “per capita” mais elevados em um sistema em relação ao outro, a existência de intermitência de água, etc. Essa situação demonstra que esse indicador não é auditável.

O índice percentual apresenta a seguinte formulação:

$$\text{Índice de Perdas (\%)} = \frac{\text{Volume Perdido Total}}{\text{Volume Fornecido}}$$

2.3.2 Índice de Perdas por Ligação

Segundo Tardelli (2004), esse indicador relaciona o Volume Perdido Total com o número médio de ramais (ligações) existentes na tubulação de distribuição de água, introduzindo um “fator de escala” para melhor comparar sistemas de diferentes tamanhos, sendo recomendado pela International Water Association – IWA.

O índice de perdas por ligação apresenta a seguinte formulação:

$$\text{Índice de Perdas por Ligação (Litros/lig . dia)} = \frac{\text{Volume Perdido}}{\text{Número de Ligações} \times 365}$$

Esse indicador foca as perdas por ramais (ligações), ficando muito dependente da densidade de ramais (ligações) existentes, recomenda-se o seu uso nos casos em que a densidade de ramais for superior a 20 ramais/km, valor que ocorre praticamente em todas as áreas urbanas (Tardelli, 2004).

2.3.3 Método das Vazões Mínimas Noturnas

A base deste método é a variação dos consumos no sistema de abastecimento de água ao longo do dia. A Vazão Mínima Noturna é a menor vazão que ocorre durante um dia. É chamada de mínima noturna porque somente ocorre durante a madrugada, quando a maioria dos consumidores está repousando. A utilização da vazão mínima noturna para a determinação das perdas reais é vantajosa devido ao fato de que, no momento de sua ocorrência, há pouco consumo e as vazões são estáveis, e uma parcela significativa do seu valor refere-se às vazões dos vazamentos. A vazão dos vazamentos varia durante as 24 horas do dia, sendo maior à noite, quando a pressão é máxima. Na maioria dos sistemas a ocorrência da vazão mínima noturna se dá entre 3 e 4 horas (Tardelli, 2004).

Ainda segundo Tardelli (2004), para se chegar à vazão dos vazamentos é necessário estimar praticamente todos os componentes dos consumos noturnos, a menos dos grandes consumidores, onde é possível medir os seus consumos individuais observados durante os ensaios. Para os consumos residenciais, costuma-se assumir hipóteses baseadas em medições específicas de consumo e extrapoladas para o conjunto de consumidores da área envolvida, ou utilizar dados de literatura. As vazões de vazamentos assim determinadas representam os valores observados naquela hora do ensaio, onde as pressões do sistema atingem o máximo. Como a vazão dos vazamentos é bastante influenciada pela pressão, o valor observado na hora da mínima noturna é a vazão máxima diária dos vazamentos que, se simplesmente multiplicada por 24 horas, estaria supervalorizando os volumes diários perdidos. Para solucionar esse problema, foi criado o Fator Noite/Dia, que é um número, dado em horas por dia, que multiplicado pela vazão dos vazamentos (extraída da vazão mínima noturna) resulta no volume médio diário dos vazamentos, ou seja, nas perdas reais médias do ensaio. O Fator Noite/Dia é determinado a partir de medições de pressão em um ponto médio

representativo da área, utilizando-se, posteriormente, a relação entre pressão e a vazão de vazamentos. O valor do Fator Noite/Dia pode ser menor do que 24 horas, que é o caso mais comum, observado em setores sem nenhuma interferência operacional, ou ser maior do que 24 horas, como acontece em setores com válvulas redutoras de pressão, que reduzem a pressão durante a madrugada, invertendo, assim, o comportamento da variação das pressões ao longo do dia.

O Fator Noite/Dia (FND) - corresponde à relação entre a vazão média diária de vazamentos e a vazão de vazamentos que ocorre no horário da vazão mínima noturna, e é calculado segundo a expressão abaixo:

$$FND = \frac{Q_{vaz - med}}{Q_{vaz - MN}}$$

Onde:

- **FND:** Fator Noite/Dia (horas/dia);
- **Q_{vaz-med}:** Vazão Média Diária de Vazamentos (m³/dia); e
- **Q_{vaz-MN}:** Vazão de Vazamentos no Horário da Vazão Mínima Noturna (m³/hora).

Com base no perfil médio horário de pressões e com o valor de N1, o FND é calculado conforme a expressão abaixo:

$$FND = \sum_{i=1}^{24} \left(\frac{P_i}{P_{mn}} \right)^{N1}$$

Onde:

- **P_i:** Pressão Média na Hora i: entre 0 e 1 hora, entre 1 e 2, 2 e 3, hi a hn, até 23-24 horas;
- **P_{mn}:** Pressão Mínima Noturna Média;
- **N1:** expoente que depende do tipo de material dos tubos.

O valor de FND pode resultar menor, igual ou maior que 24, dependendo das seguintes configurações do sistema analisado:

- Em sistemas sem controle de pressão, com abastecimento direto a partir de reservatórios, o FND é menor que 24 ($FND < 24$);
- Em sistemas com controle de pressão acentuado no período noturno, o FND é maior que 24 ($FND > 24$);
- Em sistemas em que a pressão permanece praticamente constante ao longo do dia (tubulações superdimensionadas, por exemplo), o FND é igual ou bem próximo a 24 ($FND = 24$).

Após a definição do FND é realizada a leitura mensal de dados da micromedição e da macromedição para utilização no cálculo das perdas totais mensais do setor. O volume de perdas totais mensais é a diferença entre o volume macromedido e o volume micromedido.

A Vazão Mínima Noturna é anotada diariamente e calculada mensalmente. O resultado da multiplicação da vazão mínima mensal pelo FND são as perdas reais mensais no setor, que subtraídas das perdas totais chega-se às perdas aparentes mensais.

2.4 Causas das perdas

As perdas de água ocorrem em qualquer processo de abastecimento de água, desde a captação até os pontos de consumo, existem diversas causas para as perdas de água. Portanto, a correta identificação, classificação e definição das ações para combatê-las é fundamental para reduzi-las de forma consistente.

2.5 Perdas reais ou perdas físicas

As perdas reais ou físicas, referem-se a toda água disponibilizada que não chega aos consumidores. São decorrentes de vazamentos em tubulações e ramais e ocorrem devido ao envelhecimento e fadiga dos materiais, por problemas na qualidade dos mesmos ou por falhas na sua instalação e excesso de pressão. O extravasamento em reservatórios também é considerado um tipo de perda real, (Tardelli, 2004).

Ainda segundo Tardelli (2004), os vazamentos em tubulações ou em ramais podem ser classificados em visíveis ou não visíveis, os vazamentos visíveis são aqueles facilmente identificados pelos técnicos das companhias ou pela população, já os vazamentos não visíveis exigem um tratamento especial, requerendo a utilização de técnicas e equipamentos para a sua identificação. Os vazamentos não visíveis podem ser classificados, em:

- Vazamentos inerentes, caracterizados por apresentar baixa vazão, impossibilitando a sua identificação pelos métodos acústicos de detecção, praticamente impossibilitando a sua correção, por este motivo, tendem a ser vazamentos de longa duração;
- Vazamentos não visíveis, caracterizados por apresentar média vazão, portanto são vazamentos possíveis de serem identificados pelos métodos acústicos de detecção, possibilitando sua posterior correção. Contudo, é fundamental a implementação de uma estratégia de controle ativo de vazamentos, caso contrário, tendem a ser vazamentos de longa duração;
- Vazamentos visíveis, caracterizados por apresentar alta vazão, permitindo sua rápida identificação e reparo, em comparação aos vazamentos não visíveis, por este motivo, tendem a ser vazamentos de curta duração.

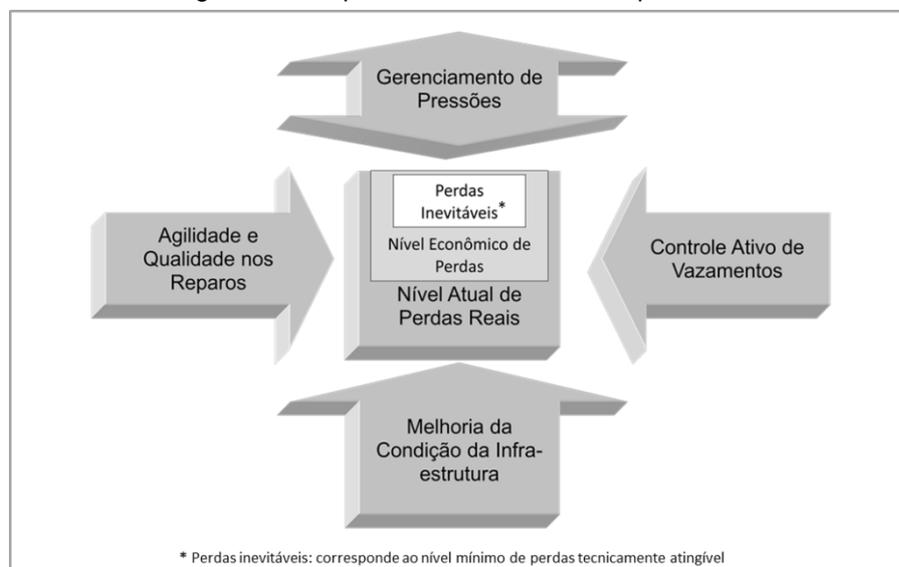
Segundo Tardelli (2004), para as perdas reais, o esquema apresentado na figura 2 ilustra os quatro principais componentes de um programa de controle de perdas, onde:

- O nível de perdas reais existente no local, apresenta outros níveis de perdas referenciais, sendo, o Nível Econômico de Perdas Reais e as Perdas Reais Inevitáveis. A diferença entre as áreas do Nível Atual de Perdas Reais e do Nível de Perdas Reais Inevitáveis representa o volume potencialmente recuperável com as ações de redução de perdas.
- O componente relativo ao gerenciamento de pressões representa a adequação das pressões em valores compatíveis com uma boa operação, mantendo as pressões estáveis, sem potencializar a ocorrência e as vazões dos vazamentos existentes.

- O componente relativo ao controle ativo de vazamentos representa a realização de campanhas para a detecção de vazamentos não visíveis, decorrentes da gestão das vazões mínimas noturnas em Distritos de Medição e Controle (DMCs), de forma a agilizar a identificação, localização e eliminação dos vazamentos;
- O componente relativo a agilidade e qualidade nos reparos de vazamentos refere-se ao encurtamento do tempo entre a identificação do vazamento e o seu reparo, no menor tempo possível, esse componente é aplicado aos vazamentos visíveis e não visíveis;
- O componente relativo a melhoria da condição da infraestrutura consiste em atividades de proteção da tubulação contra a corrosão, a substituição dos ramais e trechos de tubulações com maior incidência de vazamentos, devido ao envelhecimento, a fadiga ou as falhas na execução.

O esquema mostrado na Figura 2, ilustra as quatro principais estratégias para o controle das perdas reais.

Figura 2: Componentes do controle de perdas reais



Fonte: Water loss control manual – Thornton (2002)

2.6 Perdas aparentes ou perdas não físicas

As perdas aparentes ou não físicas, referem-se ao volume de água que foi efetivamente consumido pelo usuário, mas que não foi medido ou contabilizado.

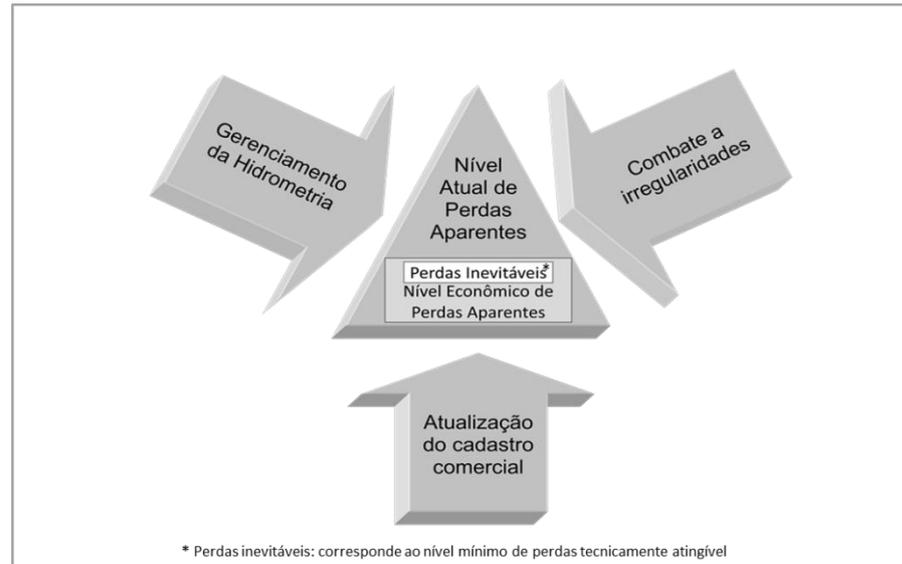
São decorrentes de irregularidades (fraudes, ligações clandestinas), falhas no cadastro comercial e submedição em hidrômetros, (Tardelli, 2004).

Segundo Tardelli (2004), para as perdas aparentes, o esquema apresentado na figura 3 ilustra os quatro principais componentes de um programa de controle de perdas, onde:

- O nível de perdas aparentes existente no local, apresenta outros níveis de perdas referenciais, sendo, o Nível Econômico de Perdas Aparentes e as Perdas Aparentes Inevitáveis. A diferença entre as áreas do Nível Atual de Perdas Aparentes e o Nível de Perdas Aparentes Inevitáveis representa o volume potencialmente recuperável com as ações de redução de perdas.
- O componente relativo à redução de erros dos medidores, também denominado de gerenciamento da hidrometria, tem como ações mais significativas a correta especificação dos medidores, a adequada instalação, análises dos hidrômetros instalados, com a priorização e substituição dos hidrômetros sujeitos à submedição devido ao desgaste ou à inadequação do seu dimensionamento ao perfil de consumo do cliente;
- O componente relativo ao combate às fraudes e às irregularidades, envolve ações de inspeção de ligações suspeitas de haver interferência na contabilização do consumo, variações anormais de consumos, com o objetivo de identificar potenciais irregularidades e regularizar as fraudes constatadas;
- O componente relativo à atualização do cadastro comercial refere-se ao aperfeiçoamento contínuo do sistema de gestão comercial, principalmente em relação ao cadastramento das novas ligações e a apuração dos consumos.

O esquema mostrado na Figura 3, ilustra as três principais estratégias para o controle das perdas aparentes.

Figura 3: Componentes do controle de perdas aparentes



Fonte: Water loss control manual – Thornton (2002)

Quanto aos esforços para a redução das perdas, é importante salientar que, se nada for feito, as perdas nos sistemas de abastecimento tendem a aumentar naturalmente, pois as tubulações e os hidrômetros envelhecem e sofrem desgastes com o uso e, sem um maior controle, as irregularidades (fraudes) tendem a aumentar. Desta forma, é necessária a aplicação de esforços e recursos continuamente, de forma a impedir o aumento das perdas. E, ainda, um empenho adicional para que elas possam ser reduzidas. Esses esforços devem ser permanentes para evitar que os índices de perdas voltem a subir (Thornton et al., 2002).

Portanto, as ações de combate às perdas devem ser aplicadas de forma contínua, ou seja, sempre será necessário realizar manutenções preventivas e corretivas, e, em alguns casos, realizar a renovação ou substituição da infraestrutura instalada. Também é importante esclarecer que, quanto menor o patamar das perdas, maior o esforço e o volume de recursos exigidos para sua redução. Assim, a redução das perdas não é uma tarefa fácil, demandando grandes esforços e aplicação de recursos continuamente (Thornton et al., 2008).

Conclui-se pela revisão bibliográfica, de acordo com os diversos autores citados, que há uma relação direta entre o envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água, principalmente das tubulações de distribuição, e o aumento

das perdas. Também é consenso que a reabilitação da infraestrutura hidráulica é uma ação necessária quando as tubulações atingem o final da sua vida útil técnica e apresentam diversos problemas de desempenho.

Contudo, por se tratar de uma ação onerosa, concorrendo com outros investimentos necessários em saneamento, requer análises de viabilidade técnica e econômica que justifiquem a sua execução. Do ponto de vista da redução das perdas, principalmente as perdas reais e os respectivos volumes perdidos, a recuperação dessas parcelas colaboram para a viabilidade da ação de reabilitação das tubulações.

3 Apresentação da Metodologia

A metodologia apresentada foi desenvolvida pelo Departamento de Gestão do Programa Corporativo de Redução de Perdas da Sabesp, com o objetivo de mensurar os resultados obtidos em redução de perdas nas obras de substituição de tubulações de distribuição de água.

A metodologia é aplicada em dois momentos, antes do início das obras, chamado de avaliação pré obra, e após a conclusão da mesma, com o objetivo de mensurar os resultados obtidos sob as mesmas condições operacionais, de forma a garantir que os resultados obtidos são diretamente relacionados às obras de redução de perdas executadas.

3.1 Avaliação Pré Obra

Nessa etapa do trabalho é realizado o levantamento das condições de abastecimento e características físicas e operacionais do setor ou distrito de medição e controle (DMC) estudado, tais como: verificação da estanqueidade, características das tubulações (extensão, idade e materiais), número de ligações e economias, histórico de volumes e indicadores de desempenho (IPDT – Índice de perdas por ligação, em L/lig.dia, IPM – Índice de perdas da micromedição, em %, vazamentos em tubulações e ramais, etc.) para a situação anterior ao início das obras de substituição de tubulações e ramais.

3.1.1 Teste de Estanqueidade

Para a correta avaliação dos volumes de água perdidos na área a ser avaliada é necessário garantir a medição do volume de entrada e os limites operacionais da área, ou seja, deve-se garantir que o limite operacional esteja estanque. A estanqueidade da área é garantida através de 2 testes, a estanqueidade por meio de teste de pressão em carga e a estanqueidade por meio de teste de pressão zero. No primeiro teste são levantadas medidas de pressão instantânea em pontos dentro e fora da área nas proximidades dos registros limítrofes. Como as áreas trabalham de forma isolada, a tendência é que ocorram diferentes valores de pressão dentro e fora da área estudada e quando essa condição não é atendida, ou seja, ocorrem valores de medida próximos para as

áreas dentro e fora, pode significar que algum registro nas proximidades da medição esteja dando passagem de água entre a área estudada e seu entorno. Ocorrendo esta situação, é necessário fazer uma verificação da situação dos registros próximos com o uso de haste de escuta e certificar se o mesmo se encontra fechado e sem passagem de água. Este procedimento de analisar as pressões instantâneas dentro e fora da área deve ser realizado nas proximidades de todos os registros de setor. O segundo teste é uma etapa complementar ao primeiro teste e visa confirmar os resultados obtidos por este. No teste de pressão zero é provocado o desabastecimento da área com o fechamento do registro de entrada e feita uma campanha de medição das pressões dentro e fora da área. Ao fechar a entrada de água, as pressões no interior do setor tendem a zerar ou ficar próximas de zero, culminando no desabastecimento da área. Para um melhor resultado, é aconselhável realizar o teste no período de maior consumo, pois quanto mais próximo ao horário de maior consumo, mais rápido ocorrerá a tendência de falta d'água.

3.1.2 Medições de campo

Nessa fase são realizadas campanhas de medições de campo, medindo-se a vazão de entrada da área a ser estudada e as pressões em pontos estratégicos. É desejável que as medições sejam realizadas por um período de 1 mês, a fim de que se tenha os valores reais dos volumes de entrada na área, na impossibilidade de se ter uma campanha de medições por esse período, recomenda-se que sejam realizadas num período de tempo mínimo de 7 dias consecutivos. Para a medição da vazão de entrada, são utilizados medidores eletromagnéticos de inserção e para o levantamento de pressão são instalados equipamentos registradores de pressão (dataloggers) em pontos representativos do setor.

3.1.3 Avaliação Pós Obra

Essa etapa consiste em realizar novo levantamento das condições de abastecimento e características físicas e operacionais da área em estudo após a conclusão das obras, repetindo-se a mesma metodologia realizada na avaliação pré obra.

A partir dos resultados obtidos são calculados os seguintes indicadores pré e pós obra para efeito comparativo.

- Índice de Perdas por Ligação
- Volume de Perdas Totais
- Vazão de Perdas
- Perdas Reais e Aparentes
- Vazão Mínima Noturna
- Fator de Pesquisa

4 Resultados Obtidos

A metodologia foi aplicada em 4 (quatro) obras de substituição de tubulações de distribuição de água, localizadas na cidade de São Paulo, sendo duas na região leste e duas na região norte da capital.

Nas 4 (quatro) áreas as tubulações substituídas eram constituídas em ferro fundido, com idade média acima de 70 anos de implantação, apresentando elevado grau de deterioração de seu desempenho, principalmente relacionados às perdas reais, fator de maior peso adotado nos critérios de seleção das áreas para reabilitação.

O material selecionado para a substituição das redes foi o polietileno, PE 80, SDR 11 e PN 12,5, principalmente em função da adequação desse tipo de material na aplicação de métodos não destrutivos, *pipe bursting* e furo direcional (HDD - *Horizontal Directional Drilling*). Além das características construtivas, uma vantagem observada na escolha desse tipo de material, diretamente relacionada à redução das perdas, deve-se à possibilidade de execução da nova tubulação com uma menor quantidade de juntas em comparação aos tubos fornecidos em barras, quando os tubos em polietileno são fornecidos em bobinas, considerando-se a mesma extensão.

4.1 VRP Astorga

Na área da VRP Astorga foram substituídos 829 ramais e 5,639 km de tubulações, representando 86% da extensão total da área, em todos os ramais e tubulações substituídas foram realizados com sucesso os testes de estanqueidade.

O volume de perdas mensal na área da VRP Astorga (VPDT) medido na primeira campanha, ou seja, antes do início das obras, foi de 11.777,89 m³ e reduziu para 9.374,40 m³ na medição pós obra, que contempla o ganho devido à substituição das tubulações e dos ramais, representando uma redução de aproximadamente 20% no Volume de Perdas Totais. A vazão mínima noturna obtida na primeira campanha de medição foi igual a 4,4 l/s, reduzindo para 3,1 l/s na medição pós obra, uma redução de 30%. O IPDT calculado antes da execução das obras estava em 281 l/lig.dia, na medição pós obra o IPDT reduziu para 216 l/lig.dia, o que representa uma redução de 23%.

A Tabela 1 apresenta de forma consolidada os resultados obtidos em redução de perdas após a implantação da obra.

Tabela 1: Painel Gerencial – VRP Astorga

Painel Gerencial - VRP Astorga						
Descrição	Pré obra	Pós obra	Δ	(%)	Unidade	Referência
Número de Ligações Ativas (NLA)	1398	1399	1	0%	NLA (nº)	Signos
Extensão de Rede	6,90	6,90	0,00	0%	km	Signos
Extensão de Rede Substituída	-	5,60			km	Relatório de Obra
Volume Disponibilizado (VD)	27227	25944	-1283	-5%	m³	Medições
Volume Micromedido (VCM)	15449	16569	1120	7%	m³	Signos
Volume de Perdas (VPDT)	11778	9374	-2403	-20%	m³	Calculado
Vazão de Perdas	4,54	3,50	-1,04	-23%	l/s	Calculado
Vazão Média	10,50	10,01	-0,50	-5%	l/s	Medições
Vazão Mínima Noturna	4,44	3,11	-1,33	-30%	l/s	Medições
Pressão Montante - média	-	-			mca	Medições
Pressão Jusante - média	46,57	40,00	-6,57	-14%	mca	Medições
Pressão PC - média	-	18,10			mca	Medições
IPDT	281	216	-64,67	-23%	l/lig.dia	Calculado
Fator de Pesquisa	0,42	0,31	-0,11	-27%	Adimensional	Calculado
Fator Noite-dia FND	22,16	17,70	-4,46	-20%	horas/dia	Calculado
Perdas reais (Método da Mínima Noturna)	7087	3361	-3726	-53%	m³	Calculado
Perdas reais (Método da Mínima Noturna)	169	78	-91	-54%	l/lig.dia	Calculado
Perdas aparentes (Método da Mínima Noturna)	112	139	27	24%	l/lig.dia	Calculado (IPDt - Perdas reais)
Perdas reais (Método do Balanço Hídrico)	9777	7235	-2542	-26%	m³	Calculado
Perdas reais (Método do Balanço Hídrico)	233	167	-66	-28%	l/lig.dia	Calculado
Perdas aparentes (Método do Balanço Hídrico)	48	49			l/lig.dia	Calculado (IPDt - Perdas reais)

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Sabesp - Relatório Técnico ML-AT-ECE-RLT-0009

4.2 VRP Antônio Juvenal

Na área da VRP Antônio Juvenal foram substituídos 1.347 ramais e 11.137 km de tubulações, representando 68% da extensão total da área, em todos os ramais e tubulações substituídas foram realizados com sucesso os testes de estanqueidade.

O volume de perdas mensal na área da VRP Antônio Juvenal (VPDT) medido na primeira campanha, ou seja, antes do início das obras, foi de 48.569,89 m³ e reduziu para 24.630,68 m³ na medição pós obra, que contempla o ganho devido à substituição das tubulações e ramais, representando uma redução de aproximadamente 49% no Volume de Perdas Totais. A vazão mínima noturna obtida na primeira campanha de medição foi igual a 21,59 l/s, reduzindo para 13,72 l/s na medição pós obra, uma redução de 36%. O IPDT calculado antes da

execução das obras estava em 681 l/lig.dia, na medição pós obra o IPDT reduziu para 357 l/lig.dia, o que representa uma redução de 48%.

A Tabela 2 apresenta de forma consolidada os resultados obtidos em redução de perdas após a implantação da obra.

Tabela 2: Painel Gerencial – VRP Antônio Juvenal

Painel Gerencial - VRP Antônio Juvenal						
Descrição	Pré obra	Pós obra	Δ	(%)	Unidade	Referência
Número de ligações ativas (NLA)	2301	2301	0	0%	NLA(nº)	Signos
Extensão de rede (Km)	13,36	13,36	0	0%	Km	Signos
Extensão de rede substituída (Km)		11,37			Km	RAO
Volume disponibilizado (VD)	79566	55766	-23800	-30%	m³	Medições
Média mensal do volume micromedido anualizado (VCM/12)	30996	31135	139	0%	m³	Signos
Volume perdas (VPDT)	48570	24631	-23939	-49%	m³	Calculado (VD-VCM)
Vazão perdas	18,13	9,50	-9	-48%	l/s	Calculado (VD-VCM)
Vazão média	29,59	21,40	-8	-28%	L/s	Medições
Vazão mínima noturna	21,59	13,72	-8	-36%	(3-4hrs) L/s	Medições
Pressão Montante - média	34	38	3	10%	mca	Medições
Pressão Jusante - média	28	35	6	23%	mca	Medições
Pressão PC - média	20,34	29,75	9	46%	mca	Medições
IPDt	681	357	-324	-48%	L/lig.dia	Calculado
Fator de Pesquisa	0,73	0,64	0	-12%	Adimensional	Calculado
Fator Noite-dia FND	20,51	19,57	-1	-5%	horas/dia	Calculado
Perdas reais (Método da Mínima Noturna)	44146	23850	-20296	-46%	m³	Calculado
Perdas reais (Método da Mínima Noturna)	619,43	345,50	-274	-44%	L/lig.dia	Calculado
Perdas aparentes (Método da Mínima Noturna)	61,48	11,31	-50	-82%	L/lig.dia	Calculado
Perdas reais (Método do Balanço Hídrico)	43306	19350	-23956	-55%	m³	Calculado
Perdas reais (Método do Balanço Hídrico)	607,11	280,31	-327	-54%	L/lig.dia	Calculado
Perdas aparentes (Método do Balanço Hídrico)	73,80	76,50	3	4%	L/lig.dia	Calculado

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Sabesp - Relatório Técnico ML-AT-ECE-RLT-0010

4.3 Setor Casa Verde

Na área do Setor Casa Verde foram substituídos 6.976 ramais e 54,500 km de tubulações, representando 60% da extensão total da área, em todos os ramais e tubulações substituídos foram realizados com sucesso os testes de estanqueidade.

O volume de perdas mensal na área do Setor Casa Verde (VPDT) medido na primeira campanha, ou seja, antes do início das obras, foi de 93.978,32 m³ e reduziu para 69.031,60 m³ na medição pós obra, que contempla o ganho devido à substituição das tubulações e ramais, representando uma redução de aproximadamente 27% no Volume de Perdas Totais. A vazão mínima noturna obtida na primeira campanha de medição foi igual a 66,3 l/s, reduzindo para 30,1 l/s na medição pós obra, equivalente a uma redução de 55%. O IPDT calculado antes da execução das obras estava em 584 l/lig.dia, na medição pós obra o IPDT reduziu para 207 l/lig.dia, o que representa uma redução de 65%.

A Tabela 3 apresenta de forma consolidada os resultados obtidos em redução de perdas após a implantação da obra.

Tabela 3: Painel Gerencial – Setor Casa Verde

Painel Gerencial - Setor Casa Verde						
Descrição	Pré obra	Pós obra	Δ	(%)	Unidade	Referência
Número de Ligações Ativas (NLA)	11622	11969	347	3%	unidade	SGP out/19
Extensão de Rede	106	90	-16	-15%	km	SGP out/19
Volume Disponibilizado Mensal (VD)	469892	345158	-124734	-27%	m ³	Dados SGOA nov/19
Volume Micromedido Mensal (VCM)	252136	256593	4457	2%	m ³	SGP out/19
Volume não Consumido na Distribuição Mensal (VNCD)	14100	14100	0	0%	m ³	SGP out/19
Volume de Perdas (VPDT)	203656	74465	-129191	-63%	m ³	Calculado (VD-VCM-VNCD)
Vazão de Perdas	78,57	28,73	-49,84	-63%	l/s	Calculado
Vazão Média	181,29	133,16	-48,12	-27%	l/s	Medições
Vazão Mínima Noturna	66,28	30,09	-36,19	-55%	l/s	Medições
IPDT	584	207	-377	-64%	l/lig.dia	Calculado (VPDT/NLA)
Fator de Pesquisa	0,37	0,23	-0,14	-38%	Adimensional	Calculado
Fator Noite-Dia FND	22,95	21,42	-1,53	-7%	horas/dia	Calculado
Perdas Reais (Método da Mínima Noturna)	127140	85980	-41160	-32%	m ³ /mês	Calculado
Perdas Reais (Método da Mínima Noturna)	365	239	-125	-34%	l/lig.dia	Calculado
Perdas Aparentes (Método da Mínima Noturna)	219	-32	-252	-115%	l/lig.dia	Calculado (IPDT - Perdas reais)
Perdas Reais (Método do Balanço Hídrico)	113733	45556	-68177	-60%	m ³ /mês	Calculado
Perdas Reais (Método do Balanço Hídrico)	326	127	-199	-61%	l/lig.dia	Calculado
Perdas Aparentes (Método do Balanço Hídrico)	258	81	-177	-69%	l/lig.dia	Calculado (IPDT - Perdas reais)

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Sabesp - Relatório Técnico MN-AT-ECE-RLT-0021

4.4 VRP Ana Ribeiro

Na área da VRP Ana Ribeiro foram substituídos 1.989 ramais e 11.000 km de tubulações, representando 84% da extensão total da área, em todos os ramais e tubulações substituídos foram realizados com sucesso os testes de estanqueidade.

O volume de perdas mensal na área da VRP Ana Ribeiro (VPDT) medido na primeira campanha, ou seja, antes do início das obras, foi de 63.033 m³ e reduziu para 14.735 m³ na medição pós obra, que contempla o ganho devido à substituição das tubulações e ramais, representando uma redução de aproximadamente 77% no Volume de Perdas Totais. O IPDT calculado antes da execução das obras estava em 633 l/lig.dia, na medição pós obra o IPDT reduziu para 157 l/lig.dia, o que representa uma redução de 75%.

A Tabela 4 apresenta de forma consolidada os resultados obtidos em redução de perdas após a implantação da obra.

Tabela 4: Painel Gerencial – VRP Ana Ribeiro

Painel Gerencial - VRP Ana Ribeiro						
Descrição	Pré obra	Pós obra	Δ	(%)	Unidade	Referência
Número de Ligações Ativas (NLA)	3211	3019	-192	-6%	NLA (nº)	Signos
Extensão de Rede	13	13	0	0%	km	Signos
Volume Disponibilizado (VD)	99134	54042	-45092	-45%	m ³	Medições
Volume Micromedido (VCM)	36101	39307	3206	9%	m ³	Signos
Volume de Perdas (VPDT)	63033	14735	-48298	-77%	m ³	Calculado
Vazão de Perdas	23,53	5,50	-18,03	-77%	l/s	Calculado
Vazão Média	37,01	20,18	-16,84	-45%	l/s	Medições
Média da Vazão Mínima Noturna		6,91	6,91		l/s	Medições
Pressão Montante - Média		34	34		mca	Medições
Pressão Jusante - Média		14	14		mca	Medições
IPDT	633	157	-476	-75%	l/lig.dia	Calculado
Fator de Pesquisa		0,34	0,34		Adimensional	Calculado
Fator Noite-Dia FND		29,38	29,38		horas/dia	Calculado
Perdas Reais (Método da Mínima Noturna)		13342	13342		m ³	Calculado
Perdas Reais (Método da Mínima Noturna)		143	143		l/lig.dia	Calculado
Perdas Aparentes (Método da Mínima Noturna)		15	15		l/lig.dia	Calculado (IPDT - Perdas Reais)
Perdas Reais (Método do Balanço Hídrico)		8261	8261		m ³	Calculado
Perdas Reais (Método do Balanço Hídrico)		88	88		l/lig.dia	Calculado
Perdas Aparentes (Método do Balanço Hídrico)		69	69		l/lig.dia	Calculado (IPDT - Perdas Reais)

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Sabesp - Relatório Técnico MN-AT-ECE-RLT-0020

5 CONCLUSÃO

O envelhecimento e a conseqüente deterioração do desempenho dos sistemas de distribuição de água geram grandes desafios para os seus operadores, sendo os principais, o aumento dos custos operacionais, problemas de abastecimento e de qualidade da água distribuída, e a elevação dos índices de perdas de água, tema sempre em foco e objeto de constantes questionamentos por parte de órgãos de fiscalização e controle, entidades de regulação e da sociedade em geral. É consenso entre diversos especialistas que, quando um sistema de abastecimento atinge o final de sua vida útil o número de manutenções corretivas aumenta, contudo, não corrigem o problema apenas o mantém sob certo controle, quando essa condição é viável tecnicamente. Portanto, a melhor forma de intervir de maneira efetiva nessas condições é a reabilitação da infraestrutura, atuando nas causas dos problemas e não somente nas conseqüências, sendo uma oportunidade para a correção de diversos problemas estruturais simultaneamente, e de modernização do sistema de distribuição, que geralmente possuem, elevadas idades de implantação.

Contudo, a reabilitação da infraestrutura, principalmente das tubulações de distribuição de água, apesar de seus benefícios, possui elevado custo e concorre com as demais demandas por investimento, requerendo que as viabilidades técnica e econômica sejam garantidas.

A avaliação dos resultados obtidos nas obras de substituição de tubulações de distribuição de água evidenciou a efetividade dessa ação na redução das perdas reais, mensurando, a partir de critérios técnicos, o potencial de redução de perdas desse tipo de intervenção.

Portanto, avaliar os resultados obtidos em obras de substituição de tubulações de distribuição de água, principalmente em redução de perdas, utilizando-se critérios técnicos e indicadores apropriados, fornece informações extremamente úteis para subsidiar futuros estudos de viabilidade e tomadas de decisão.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, H.; *et al.* **Methodological approach for the rehabilitation of water distribution systems: Case study application based on the CARE-W system.** In: Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, August 2006. p.1, 2.

ALVISI, STEFANO; FRANCHINI, MARCO. **Multiobjective optimization of rehabilitation and leakage detection scheduling in water distribution systems.** Journal of Water Resources Planning and Management. November/December 2009. p.426.

HADZILACOS, T. *et al.* **UtilNets: a water mains rehabilitation decision-support system.** Computers, Environment and Urban System. Elsevier Science 2000. p 217, 218.

KLEINER, Y. *et al.* **Water distribution network renewal planning.** Journal of Computing in Civil Engineering. January 2001. p.15.

MARINIS, G. de *et al.* **Risk-cost based decision support system for the rehabilitation of water distribution networks.** Proceedings of the 10th Annual Water Distribution System Analysis Conference 2008. South Africa, August 2008. p. 652.

POULTRON, M. *et al.* **Evaluating risk of multi-segment pipes for prioritizing pipe rehabilitation.** World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers, Kansas City, May 2009. p. 20, 21.

TARDELLI J. F. Controle e redução de perdas. In: Tsutiya, M. T. **Abastecimento de água.** 2º Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. p. 457 – 475, 490 - 498.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control.** 2º ed. EUA. McGraw-Hill, 2008. P. 345 – 350.

THORNTON, Julian. **Water loss control manual**. EUA - 1st ed. Hightstown: McGraw-Hill Professional, 2002.