Encontro Técnico AESABESP
36º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

UTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO NO CONTROLE DE PERDAS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Ricardo Henrique de Andrade Dutra[(1)]
Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Engenharia Civil – ênfase em Recursos Hídricos, Saneamento e Hidráulica - pela Universidade Federal de Uberlândia. Engenheiro de Operação e Manutenção na Copasa responsável pelos municípios de Nova Lima e Raposos.
Karina Meneses Andrade Barros[(2)]
Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG. Especialista em Engenharia de Rodovias pela FAEMIG. Especialista em Engenharia Rodoviária pela FUMEC. Especialista em Engenharia Ambiental pela PROMINAS. Engenheira de Desenvolvimento Tecnológico e de Tratamento de Água na Copasa.

Endereço[(1)]**:** Rua Mar de Espanha, 525 – Santo Antônio – Belo Horizonte - MG - CEP: 30330-900 - Brasil - Tel: +55 (31) 9-7139-5237 - e-mail: ricardo.dutra1@copasa.com.br.

RESUMO

O trabalho apresenta aspectos teóricos e técnicos do controle de perdas de água na rede de distribuição, aparentes e reais (Perdas de Água Totais - PAT) por meio do estudo de caso de uma cidade de médio porte em Minas Gerais que apresentava índice estimado de perdas (PAT) de 50%, valor acima da média brasileira de 37,8% (SNIS 2022), demonstrando a real necessidade de estabelecer ações de controle para reduzir as perdas. Nesse contexto, foi implementado um programa de redução de perdas reais (PR) que se baseou no controle de pressão, por meio da utilização de válvulas redutoras de pressão (VRP) com controladores eletrônicos e da pesquisa de vazamentos não visíveis com a utilização de *loggers* de ruídos, permitindo obter resultados bastante satisfatórios com redução de até 62% no índice de perdas reais (PR) por ligação. Tal estudo permite aos técnicos novos dados para o auxílio na tomada de decisões e escolha da metodologia e equipamentos a serem aplicados no combate às perdas de água.

PALAVRAS-CHAVE: Redução. Perdas. Água

Introdução

Ao longo dos anos, o setor de saneamento básico no Brasil priorizou a implantação, ampliação e confecção de projetos no serviço de abasteci mento de água em vez de investir em processos de manutenção, operação e gestão dos serviços. Tal fato é justificado pela ausência de prestação de serviços em saneamento em muitas cidades brasileiras, o que resultou na concentração de investimentos na implantação dos sistemas de abaste cimento de água. A deterioração de materiais e equipamentos, a imprecisão de instrumentos de medição e controle, o despreparo dos prestadores de serviços para garantir um melhor monitoramento da água produzida, distribuída e consumida, e a falta de incentivos e de tecnologia para uma gestão mais eficiente dos prestadores, tanto públicos como privados, resulta em menores receitas e consequentemente menores investimentos na área. Outro fator a ser considerado é o manuseio e a substituição de peças nas obras de saneamento, nos quais a falta de preparo e conhecimento técnico dos operadores resulta diretamente na qualidade e quantidade de intervenções nas unidades dos sistemas.

Desse modo, grande parte da água produzida não chega ao consumidor final. Parte da água é perdi da nas redes de distribuição, nos ramais prediais, no extravasamento de reservatórios, nas ligações clandestinas e em outras unidades do sistema. Nesse contexto, o controle de perdas passou a ter uma atenção cada vez maior entre as concessionárias de fornecimento de água potável. Nas últimas décadas, notou-se um crescente investi mento na área buscando a redução do volume de água perdido nas etapas de captação, tratamento e principalmente de distribuição.

Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), teoricamente, as perdas se dividem em perdas aparentes (PA) e perdas reais (PR). As perdas aparentes, também chama das de perdas não físicas ou comerciais, estão relacionadas ao volume de água que foi efetiva mente consumido pelo usuário, mas que, por algum motivo, não foi medido ou contabilizado, gerando perda de faturamento ao prestador de

serviços. São falhas decorrentes de erros de medição (hidrômetros inoperantes, com sub medição, erros de leitura, fraudes, equívocos na calibração dos hidrômetros), ligações clandestinas, by-pass irregulares nos ramais das ligações, falhas no cadastro comercial, etc. Nesses casos a água não é faturada, mas é efetivamente consumida. As per das reais, conhecidas como físicas, referem-se a toda a água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores. Essas perdas acontecem por vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema, compreendem principalmente os vazamentos em tubulações da rede de distribuição, potencializados pelo excesso de pressão, habitualmente em regiões com grande variação topográfica. Os vazamentos estão as sociados à qualidade dos materiais utilizados, à idade das tubulações, à qualidade da mão de obra e à ausência de programas de monitoramento de perdas, dentre outros fatores.

Segundo a *International Water Association* (IWA), definem-se perdas como toda perda real ou aparente de água ou todo consumo não autoriza do que determina aumento do custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional. Qualquer discussão relativa a perdas de água deve ser precedida de uma definição clara do balanço hídrico por causa da grande diversidade de formatos e definições. Baseando-se na melhor prática de muitos países, foi produzida uma terminologia padrão buscando sua uniformização (ALEGRE, 2000; LAMBERT 2000). A Tabela 1 traz um resumo do Balanço Hídrico, modelo IWA, em apoio à definição do conceito de perdas de água.

Tabela 1 - Balanço Hídrico IWA

<table>
<tr><td rowspan="8">Água que entra no sistema (inclui água importada)</td><td rowspan="3">Consumo autorizado</td><td rowspan="2">Consumo autorizado faturado</td><td>Consumo faturado medido (inclui água exportada)</td><td>Água faturada</td></tr>
<tr><td>Consumo faturado não medido (estimado)</td><td rowspan="6">Água não faturada</td></tr>
<tr><td>Consumo autorizado não faturado</td><td>Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão pipa, etc.)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Perdas de água Totais</td><td>Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas, etc.)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Perdas aparentes</td><td>Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)</td></tr>
<tr><td>Erros de medição (macro e micromedição)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Perdas reais</td><td>Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)</td></tr>
<tr><td>Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição</td></tr>
<tr><td>Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>Vazamentos nos ramais (montante do ponto de medição)</td></tr>
</table>

Fonte: Adaptado de Lambert (2000)

A abordagem econômica para cada tipo de perda é diferente. Sobre as “perdas reais” recaem os custos de produção e distribuição da água, e sobre as “perdas aparentes”, os custos de venda da água no varejo, acrescidos dos eventuais custos da coleta de esgotos (ABES, 2013). Segundo os dados de 2022 do SNIS, o Brasil apresenta um índice médio de perdas de água totais (PAT) de 37,8%, valor semelhante a 2013 e 2012, 37% e 36,9%, respectivamente. No período recente, de 2019 a 2021 o índice atingiu patamar entre 39,1% a 40,3%. Desse modo, mais de um terço da água distribuída pelas companhias de saneamento não chega ao consumidor, por problemas como falta de precisão de equipamentos, uso de aparelhos obsoletos, falta de manutenção e os chamados “gatos”. Tal situação representa menos investimento nos serviços de saneamento, uma vez que, considerando-se o índice de perdas de 37%, para cada R$ 100 de água produzida apenas R$ 63 são faturados pelas companhias. A Tabela 2 apresenta as metas estipuladas há 10 anos para redução das perdas de distribuição de água no Brasil e nas macrorregiões.

Tabela 2 - Metas para redução das perdas totais de distribuição de água no Brasil (%)

Ano	BRASIL	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
2010	39	51	51	34	35	34
2018	36	45	44	33	33	32
2023	34	41	41	32	32	31
2033	31	33	33	29	29	29

Fonte: Adaptado do Plano de Saneamento Básico (PLANSAB, 2014)

De acordo com o SNIS (2022), as regiões com menor índice de Desenvolvimento Humano (IDH) possuem menor atendimento de água, coleta e trata mento de esgoto. Nas regiões Norte e Nordeste, onde historicamente o IDH é mais baixo, os resultados relacionados às perdas de água são os piores, com índices de PAT de 46,9% e 46,7%, respectivamente. Se a redução das perdas seguir o ritmo atual, a meta para região Norte, por exemplo, que seria alcançar índice de PAT de 33% em 2033, só seria estabelecida no ano de 2089. A questão de perdas em sistemas de abastecimento de água é abordada desde 1900, quando o controle dos reparos de vazamentos era feito mediante solicitação do consumidor final. A partir da década de 40 deu-se início às ações de pesquisa de vazamentos não visíveis, e nos anos 80 começou a utilização do controle de pressões na rede de distribuição de água. Mas o tema ganhou destaque no cenário mundial após a publicação do estudo "*Leakage control, policy and practice - Report 26*", promovido pela *Water Research Center* na década de 80. Esse episódio possibilitou diversas discussões e iniciativas para o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de controle e da ocorrência das per das reais, na maioria das vezes liderada pela IWA (*International Water Association*), referência, ainda nos dias atuais, no combate e prevenção das perdas (TARDELLI, 2006).

Segundo ARIKAWA (2005), a trajetória da redução de perdas no Brasil iniciou-se no início dos anos 70 com a implantação do Plano Nacional de Saneamento (Planasa), que tinha como objetivo aumentar o atendimento do setor de saneamento no país por meio da criação de companhias estatais de água e esgoto. Nesse âmbito, em 1963 foi criada, em Minas Gerais, a Companhia Mineira de Água e Esgoto (Comag), que após 11 anos passou a ser chamada de Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), após a publicação da Lei nº 6475/1974. Em 1981, por iniciativa do Banco Nacional de Habitação (BNH), criou-se um ambiente de discussão acerca do controle de perdas que resultou na criação do Plano Estadual de Controle de Perdas (PECOP), que visava à redução do volume perdido no sistema, além da identificação dos fatores causadores de perdas e sua consequente redução. No começo da década de 90, foi criado pelo Governo Federal um projeto piloto chamado Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), com intuito de melhorar a qualidade e eficiência das práticas operacionais dos sistemas de saneamento. Foi por meio desse pro grama que surgiu o Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), que corresponde ao diagnóstico, visão geral da prestação de serviços em saneamento e armazenamento de dados ou formação de série histórica. (PMSS, 2011).

No ano de 1977, a Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU/PR), com o objetivo de promover o uso racional da água em benefício da saúde pública, saneamento ambiental e da eficiência dos serviços de saneamento, desenvolveu o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Já no final do século XX, a Associação Brasileira de Ensaios Não-Destrutivos e Inspeção (Abendi), em parceria com a Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (AESBE), desenvolveu um programa de qualificação e certificação em detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão. Nas últimas décadas, vários estudos relacionam as ações estratégicas para controle de vazamentos e pressão nas tubulações com a minimização das perdas no sistema de distribuição de água.

De acordo com Campisano et al (2010), o conhecimento da variação temporal e da distribuição espacial da demanda de água permite a otimização dos sistemas de distribuição, uma vez que o controle em tempo real da pressão nas redes contribui para redução das perdas, além de permitir diferentes condições de operacionalidade do sistema.

Segundo Cembrano et al. (2000), uma rede de abastecimento de água, em geral, é composta por elementos hidráulicos que podem ser divididos em duas categorias: elementos passivos e ele mentos ativos. Estes são compostos por bombas e válvulas, elementos que podem ser operados para controlar a pressão da água na rede. Reservatórios e tubulações constituem os elementos passivos, já que estes recebem os efeitos da operação dos ele mentos ativos, em termos de pressão. Os autores ainda afirmam que para se ter um sistema efetivo de controle da rede de distribuição é necessário ter um sistema de telemetria, responsável pelo envio e/ou atualização de informações tais como leituras de pressão, do real estado dos elementos ativos, bem como as condições de operação instantânea da rede; e elaboração de estratégias de controle. Com tais ações pode-se obter a minimização dos custos de fornecimento e de bombeamento do sistema, o aumento dos índices de qualidade da água, além, é claro, da regulação e do controle da pressão, o que impacta diretamente na diminuição do número de vazamentos ao longo da extensão de toda rede de distribuição.

Alonso et al. (2000), Vitkovský et al. (2000), Ula nicka et al. (2001), Araujo et al. (2006), Campisano et al (2010), Tahavori et al. (2012), Fontana et al. (2014), Xu et al. (2014), Creaco e Pezzinga (2015) e Dai e Li (2016) apresentaram técnicas para a minimização da pressão como um parâmetro condicional do indicador de vazamento em sistemas de rede de água. Ao longo dos anos, observou-se a evolução das técnicas empregadas, sobretudo quanto aos algoritmos, que se basearam desde a programação linear, passando pelos algoritmos genéricos e as funções multiobjetivas, ampla mente utilizadas pelos autores.

Em relação à metodologia a ser utilizada no controle de pressões, Ulanicka et al. (2001), Karadirek et al. (2012) e Babic et al. (2014) sugeriram que a melhor solução deve incluir a utilização de ele mentos que provocam perdas de carga, tais como válvulas redutoras de pressão (VRP). Os autores utilizaram métodos tais como o da vazão mínima noturna, que também fora utilizada no presente trabalho, o do Presmac, que é um modelo de ges tão de pressão utilizado para avaliar a economia de água, a determinação do índice de perdas reais, dentre outros. Já Araujo et al. (2006), Liberatore e Sechi (2009), Nicolini e Zovatto (2009), Daí e Li (2014) e Fecarot ta et al (2014) analisaram a localização e a regulação e/ou calibração ideal das VRPs, assim como a relação entre os custos e as reduções de perdas nas redes de abastecimento, ou seja, investigaram os custos de instalação das VRPs com a minimização do número de válvulas e de vazamento total do sistema de distribuição, bem como a economia gerada com a implantação dos sistemas de redução de pressão. Desse modo, apresentaram soluções com algoritmos multiobjetivos que foram capazes de resultar em um conjunto de soluções entre custos e a redução das perdas.

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a redução de perdas reais em um sistema de abastecimento de água por meio da implantação de válvulas redutoras de pressão na rede de distribuição além da pesquisa por vazamentos não visíveis.

Metodologia

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos junto a empresa especializada contratada para implantação do sistema de controle de perdas. Ressalta-se que o autor principal deste trabalho fez parte da equipe de levantamento dos dados e de intervenções no sistema. A implantação do sistema de controle de pressão foi realizada em uma cidade de médio porte, loca lizada na região do Vale do Aço em Minas Gerais, cujo índice de PAT era da ordem de 50% (valor observado a partir dos dados de macromedição e micromedição), o que demonstrava a grande necessidade do estabelecimento de ações de controle. Tais ações ocorreram, sobretudo, na rede de distribuição da localidade, com a utilização de técnicas para minimização das perdas reais do sistema descritas a seguir. A previsão inicial era que o índice de PAT alcançasse o patamar de 30%, valor abaixo da média brasileira fornecida pelo SNIS (2022).

Inicialmente foi realizada verificação do cadastro do sistema de abastecimento de água da cidade por meio de plantas gerais das zonas de abasteci mento, limites dos setores e distritos de medição e controle (DMC), localização de válvulas redutoras de pressão, localização de *boosters*, reservatórios e zonas de pressão demarcadas. Para verificação e garantia da confiabilidade dos cadastros existentes, foram necessárias medições de vazão e pressão em pontos diversos da área de estudo. Em seguida, realizou-se um estudo de simulação hidráulica por meio dos softwares de modelos matemáticos Epanet e *WaterCad*, para que a calibração do sistema de abastecimento existente fosse a mais próxima possível da realidade. O uso da simulação hidráulica foi efetivo para o estudo de caso em questão. As simulações das condições de operação foram significativamente precisas e subsidiaram a atualização do cadastro existente fornecido. A Figura 1 apresenta a definição da setorização da área de estudo com implantação dos sistemas de redução das perdas na rede de distribuição da cidade.

Figura 1 – Setorização da área de estudo



Dos 11 setores ilustrados na Figura 1, foram escolhidos os setores 1, 2, 3, 4, 5 e 11 para implementação do sistema de redução de perdas (SRP). Nessa determinação foram priorizadas as áreas com maior potencial de redução de perdas, baseando se, sobretudo, nas medições de vazão e pressão média noturna e nas condições de infraestrutura das redes de distribuição. Em muitos casos, devido às situações precárias das redes encontradas, foi descartada a implantação do programa de redução de perdas, em função do elevado custo envolvido (em comparação com outros trechos da rede). Como havia necessidade do fornecimento de elevadas pressões a pontos mais críticos, a utilização de válvulas redutoras tornou-se inviável. Portanto, na etapa do planejamento foram identificados os setores de abastecimento de água e as áreas com maior potencial de redução de perdas para instalação das VRPs de acordo com os aspectos técnicos, recursos disponíveis para execução dos trabalhos e demandas da companhia de abastecimento. Após a definição dos setores foi realizado o diagnóstico de cada distrito de medição e controle (DMC) proposto, por meio do cadastro técnico e de verificações in loco. Foi observada a localização de singularidades como caps, registros e interligações, e verificada a viabilidade construtiva de caixas para VRPs. Também foram realizadas medições de pressão e vazão dentro de cada DMC, com auxílio de *data-loggers* por um período mínimo de sete dias, permitindo que fossem registradas e analisadas as variações de vazão e pressão ao longo do dia e ao longo dos dias da semana para avaliação inicial dos distritos. Foram obtidos dados para cada setor estudado e calculados os índices de perdas antes da implantação das válvulas.

Para garantir o correto funcionamento das válvulas redutoras de pressão (VRPs), toda a alimentação do sistema deve ser feita pelo trecho no qual a válvula se encontra instalada, caso contrário a pressão não pode ser controlada, pois a válvula tende a fechar totalmente o fornecimento de água, contrapondo o aumento de pressão ocasionado pela alimentação do sistema a partir de ou tro ponto. Dessa maneira, algumas intervenções foram necessárias para garantir a estanqueidade dos DMCs, tais como: instalação de registros e caps, assentamento de rede e interligações de trechos. Essas intervenções foram previstas no projeto de setorização. Após adequação do sistema foram feitos testes de estanqueidade que consistiram no fechamento de todos os pontos de alimentação do distrito e na medição de pressão no lado interno do setor, imediatamente à jusante do registro de fechamento, cujas pressões deveriam estar próximas de 0 m.c.a e do lado externo do setor (pressões diferentes de 0 m.c.a). As medições foram realizadas com manômetros e com registradores de pressão digitais. Para o dimensionamento das válvulas foram definidas as vazões máximas e mínimas de operação com base nas medições realizadas em campo de acordo com o fabricante. As pressões máxima e mínima de montante, bem como a perda de carga entre a válvula e ponto crítico, foram resultantes das medições realizadas previamente. Os dados foram confrontados com os fabricantes das válvulas e foram definidos os diâmetros adequados à faixa de vazão de operação e ao diferencial de pressão máximo desejado.

Foram utilizadas válvulas tipo globo, convencionais, hidraulicamente operadas, da fabricante americana Cla-val. Nas 44 válvulas foram projeta dos sistemas de controle com controladores eletrônicos de VRP (Palmer), sendo todas com modulação contínua. Nesses sistemas dotados de controlado res eletrônicos foram instalados sistemas de telemetria, que enviaram as informações obtidas em campo para uma central de análise dos dados. Posterior ao planejamento, aos estudos e aos projetos, deu-se início à etapa das atividades de implantação da obra. Esta consistiu na montagem das válvulas redutoras de pressão cujos serviços envolvidos foram abertura de valas, instalação das montagens hidráulicas, construção das caixas e instalação dos equipamentos de telemetria e equipamentos eletrônicos. No total foram 44 válvulas redutoras de pressão, com diâmetros de DN 50 mm até DN 150 mm. A extensão da rede setorizada pelas VRPs foi de 269 km, correspondentes a 40% da extensão total de rede do município, o que permitiu constatar a eficiência da etapa de definição dos setores e consequentemente, dos distritos de medição e controle. A Tabela 3 apresenta os diâmetros e as quantidades de válvulas redutoras dos seis setores implementados.

Tabela 3 – Descrição número e diâmetro de VRPs instaladas

	Diâmetro (mm)	Quantidade
VRPs Instaladas	50	26
	75	4
	100	11
	150	3

Após a instalação dos sistemas de redução de per das (SRPs), foram feitas novas medições das vazões mínimas noturnas, por um período de sete dias, em todos os distritos, e das pressões médias noturnas obtidas por meio de *data-loggers*. Foram obtidos dados para cada setor estudado e calculados os índices de perdas após a implantação das válvulas. Um ponto a ressaltar no projeto de implantação dos SRPs é o uso de filtro à montante das válvulas redutoras de pressão, que permitiu a proteção da mesma, e também do medidor de

vazão. Caso não fosse instalado o filtro, poderia ocorrer desabastecimento devido a alguma obstrução na válvula, por exemplo.

A pré-operação das VRPs foi definida por meio de medições precedentes à instalação, como medição de vazão e pressão na entrada do distrito e medição de pressão no ponto crítico. Dessa maneira foram definidos os parâmetros de regulagem das válvulas. As diferenças de pressão entre as entradas dos distritos e os pontos críticos, na situação mais crítica (vazão de pico referente à hora de maior consumo), possibilitaram a determinação das pressões a jusante das VRPs, garantindo sempre a pressão dinâmica mínima de 10 m.c.a. em qualquer ponto do distrito setorizado. A regulagem das VRPs foi efetuada por meio da vazão em módulo continuo. Com todos os parâmetros definidos para regulagem, as válvulas foram calibradas *in loco* e verificadas as condições de pressão. É interessante ressaltar que em campo são observadas situações em que as pressões oscilam de forma imprevisível, inclusive abaixo de 10 m.c.a, em função do regime de funcionamento do sistema, razão pela qual é consenso, na fase de projeto, a manutenção de pressão mínima de 15 m.c.a. Para maximizar os resultados obtidos foram realizadas oito varre duras de pesquisa de vazamentos não visíveis nos setores implementados. Os operadores utilizaram equipamentos como o geofone eletrônico e o *data--logger* de ruídos durante as varreduras em campo conforme sugere a Figura 2.

Figura 2 – Operador utilizando geofone eletrônico e data-logger de ruídos



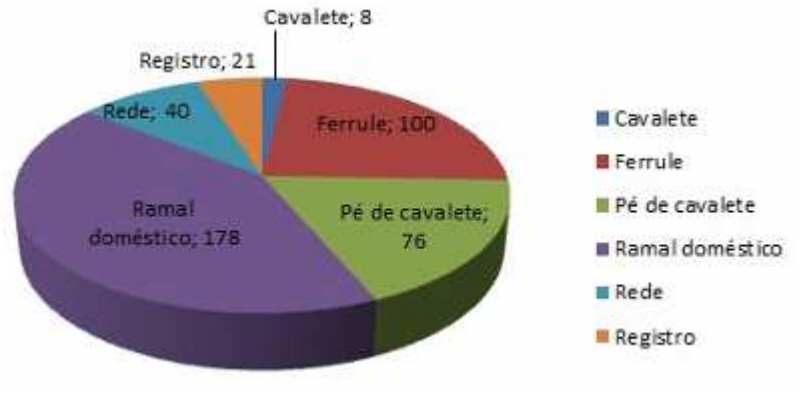
A pré-operação das VRPs foi definida por meio de medições precedentes à instalação, como medição de vazão e pressão na entrada do distrito e medição de pressão no ponto crítico. Dessa maneira foram definidos os parâmetros de regulagem das válvulas. As diferenças de pressão entre as entradas dos distritos e os pontos críticos, na situação mais crítica (vazão de pico referente à hora de maior con sumo), possibilitaram a determinação das pressões a jusante das VRPs, garantindo sempre a pressão dinâmica mínima de 10 m.c.a. em qualquer ponto do distrito setorizado. A regulagem das VRPs foi efetuada por meio da vazão em módulo continuo. As varreduras foram realizadas em dois momentos devido ao prazo de execução da obra de 24 meses. A primeira, no início dos trabalhos, quando as áreas de abrangência das VRPs já estavam definidas, teve como objetivo identificar e reparar os vazamentos nos distritos de medição e controle estabelecidos. Para um dado valor de pressão, lembra-se que quanto menor a fissura na tub lação maior é a velocidade da água na saída e, consequentemente, maior o ruído captado pelos aparelhos utilizados. Em contrapartida, as maio res fissuras, que geram perdas de volume mais significativas, são de detecção mais difícil. Esta é uma das grandes dificuldades encontradas pelos técnicos em campo. A segunda, após a calibração das VRPs, visou melhorar a eficiência das válvulas em reduzir a pressão e consequentemente, o volume perdido.

Resultados

A realização de pesquisa de vazamentos dentro dos DMCs garantiu que novos vazamentos demorassem a surgir devido à pressão estar controlada pela VRP. Além do mais, o monitoramento de vazão e pressão por meio dos *data-loggers* permitiu uma atuação direta na causa dos vazamentos. Em alguns casos, somente a ação da VRP não foi suficiente para proporcionar a redução das perdas reais nos distritos de medição e controle, situação contornada apenas após correções dos vazamentos. Após a implantação das ações de redução de per das, foi possível observar que houve uma redução do volume distribuído (macromedido) e, pratica mente, constatou-se uma manutenção do volume consumido (micromedido). Logo, pode-se afirmar que após a implantação dos SRPs houve uma queda do volume perdido e, consequentemente, um ganho do volume economizado. Com o reparo dos vazamentos, as pressões nos distritos se elevaram devido à redução da vazão

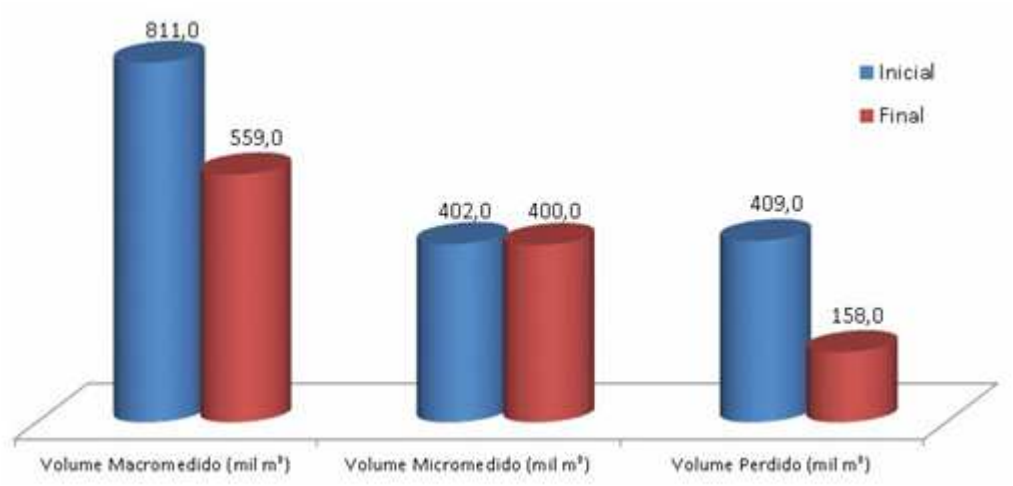
e à consequente redução das perdas de carga nos trechos. A Figura 3 ilustra a quantidade dos vaza mentos observados.

Figura 3 - Quantidade de vazamentos não visíveis localizados



O volume perdido após a execução dos trabalhos apresentou uma redução de 39%, o que corres ponde a 250.613 m³ de água economizada mensalmente. A Figura 4 apresenta os volumes iniciais e finais resultantes das ações de redução das perdas para os seis setores implementados.

Figura 4 - Gráfico Comparativo de Volumes dos setores implementados



Na maioria das áreas de abastecimento influenciadas pela implantação dos SRPs existiam problemas de oferta de água devido às elevadas per das. Após execução do trabalho foi visível o efeito regularizador proporcionado pelo volume de água que deixou de ser perdido, o que possibilitou o abastecimento de áreas que antes eram problemáticas. Assim, uma área que apresentava intermitência no abastecimento de 19.000 ligações passou a apresentar um fornecimento irregular de água para apenas 500 ligações. Com a redução da pressão na rede, somada aos reparos de vazamento realizados, foi possível calcular a vazão média distribuída e o volume de água recuperado, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Indicadores de Perdas

Características Técnicas		Inicial	Final
Ligações	Unidade	25601	25774
Índice de PR	l/lig.dia	533	205
Índice de PAT	%	50	28
Vazão média distribuída	l/s	313	216

Ao se comparar a vazão média distribuída antes e depois da instalação das VRPs, nota-se uma redução de 97 l/s, aproximadamente 31%. Mesmo com o aumento do número de ligações, houve redução da vazão necessária para atender os consumi dores finais, ou seja, a capacidade do sistema foi ampliada sem a necessidade de intervenções na produção de água tratada. O índice de PAT se refere à água que é disponibilizada e não é utilizada. Constitui uma parcela de água não faturada que integra as perdas aparentes e reais do sistema de distribuição. No presente estudo, o indicador apresentou redução de 22%, passando de 50%, inicialmente, para 28% após implementação dos SRPs. Resultado menor do que a meta inicial de 30%. Já o índice de PR na rede de distribuição, que representa a diferença entre o volume distribuído e o volume efetivamente consumido, dividido pela quantidade média de ligações correspondentes ao período em estudo, atingiu uma redução de 328 l/lig.dia, na comparação entre os períodos, que antecede e sucede a implementação do SRPs na cidade. Houve uma redução desse indicador de aproximadamente 62%. Com as intervenções realizadas e de posse dos resultados de redução de perdas de água e melhor gerenciamento da rede, o período de retorno do investimento foi calculado em relação à tarifa mínima de faturamento e ao custo médio do m³ produzido de água, utilizando a redução do volume distribuído. Os resultados do retorno do investimento são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados relativos à análise de retorno do investimento

Volume Economizado	m³/mês	250.613
Custo Total das ações de controle de perdas	R$	4.000.000,00
Custo da água produzida	R$/m³	0,21
Preço de venda da água	R$/m³	2,60
Retorno de Investimento na Produção	Mês	52.628,73
Valor potencialmente conversível em Receita	R$/mês	651.593,80
Retorno de Investimento na Produção	R$/ano	631.544,76
Valor potencialmente conversível em Receita	R$/ano	7.819.125,60

Ao analisarem-se os resultados, constatou-se que era possível a realização de investimentos na produção de água da ordem de R$ 630 mil anuais, além da possível receita de quase R$ 8 milhões/ ano, caso explorado comercialmente o volume economizado. Converter comercialmente todo o volume economizado em receita é bastante difícil devido aos problemas técnicos existentes, ineficiência de gestão, furto de água, falta de hidrantes, entre outros. Dessa maneira, alcançar o valor de quase R$ 8 milhões/ano em receitas por meio do volume economizado é praticamente impossível. Entretanto, se 40% desse valor fosse convertido em receita, seria possível a recuperação do investimento realizado nos programas de redução de perdas em apenas um ano e três meses. Considerando-se 30%, o retorno seria de um ano e seis meses, 20%, de dois anos e cinco meses e 10%, de cinco anos. Baseando-se apenas na economia resultante da produção de água tratada, o município recuperaria o valor investido em aproximadamente seis anos.

Conclusões

A utilização das técnicas de pesquisa de vaza mentos não visíveis e de controladores eletrônicos no controle de pressões nas válvulas permitiu o alcance dos objetivos desejados. Essas técnicas se demonstraram ferramentas eficazes no combate às perdas reais, ampliando a capacidade de investimento e a melhoria da qualidade dos serviços prestados à população. O fato de executar a pesquisa de vazamentos antes e após a implantação das válvulas redutoras de pressão contribuiu para identificação da localização e reparo de boa parte dos vazamentos e, consequentemente, para a eficácia dos sistemas de redução das perdas, visto que os reparos na rede de distribuição ocorreram ao longo do prazo de 24 meses de execução dos serviços. Ressalta se que a maior parte das pesquisas ocorreu após a instalação das VRPs nos distritos de medição e controle. A tecnologia dos aparelhos utilizados, aliada ao preparo dos operadores em campo, garantiu a precisão O controle eletrônico das VRPs, com uso de medidores de pressão, contribuiu para a redução do volume perdido e, consequentemente, para a diminuição das áreas de abastecimento intermitente. A utilização do controle de pressões no combate às perdas reais foi eficaz e, nesse caso, apresentou retorno significativamente rápido, o

que comprova o quão relevante é esse tema no atual contexto de escassez de água. Diante dos ótimos resultados obtidos, sugere-se que essa prática seja obrigatória no país com objetivo de alavancar os investimentos em manutenção e operação das redes de abastecimento de água.

Os bons resultados dos programas de redução de perdas se devem à técnica empregada e ao uso de equipamentos de controle de pressão (válvulas e controladores) cada vez mais sofisticados e confiáveis. Mesmo após o controle de pressões e de vaza mentos, ainda foi verificada no sistema uma porcentagem considerável de perdas, acredita-se, em função dos resultados obtidos, que em grande parte composta por perdas aparentes. Sendo as sim, recomenda-se que: • Para reduzir as perdas aparentes deverão ser executadas ações comerciais de corte de ligações inativas, instalação de hidrômetros e caça-fraudes; • Para auxiliar na redução do fator de pesquisa e das perdas reais, pode-se proceder a redução da pressão mínima esperada do ponto crítico para 6 m.c.a. Recomenda-se ainda, a prática de manutenção preventiva e avaliação de resultados e indicadores com periodicidade no mínimo mensal.

Referências Bibliográficas

1. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2. Salvador: ReCESA, 2008. 139p.
2. ABENDI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. Apostilado Curso de Pesquisa de Vazamentos Não Visíveis – Nível I, II e III. São Paulo: CETRE, 2002. ALEGRE, H. et al. Performance indicators for water supply ser vices. IWA Publishing. 2nd Edition. London, 2006.
3. ALONSO, J. M. et al. Parallel computing in water network analysis and leakage minimization, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Julho/Agosto, p. 251–260, 2000.
4. ARAUJO, L.S. et al. Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management. Water Resources Man agement. v. 20, p. 133-149, 2006.
5. ARIKAWA, K. C. O. Perdas reais em sistemas de distribuição de água – Proposta de metodologia para avaliação de perdas reais e definição das ações de controle. 2005. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
6. BABIC, B. et al. Managing water pressure for water savings in de veloping countries. Water SA. v. 40, n. 2, Abril, 2014.
7. CAMPISANO, A. et al. RTC of Valves for leakage reduction in water supply networks. Journal of Water Resources Planning and Management. v. 136, n. 1, Janeiro 1, 2010.
8. CREACO, E. et PEZZINGA, G. Multiobjective optimization of pipe replacements and control valve installations for leakage attenuation in water distribution networks. Journal of Water Resources Planning and Management. v. 141, n. 3, 2015.
9. CLA-VAL - Technical Seminar Presentation. Newport: Cla-valCo., 2004. Disponível em CD CLA-VAL - Soluções com válvulas de controle automático. Catálo go: Cla-val, 2013.
10. DAI, P. D. et LIU, P. Optimal localization of pressure reducing valves in water distribution systems by a reformulation approach. Water Resources and Management, v. 28, p. 3057-3074, 2014.
11. DAI, P. D. et LIU, P. Optimal pressure regulation in water distribution systems based on an extended model for pressure reducing valves. Water Resources and Management, v. 30, p. 1239-1254, 2016.
12. FECAROTTA, O. et al. Hydropower potential in water distribution networks: pressure control by PATs. Water Resources Management, v. 29, p. 699-714, 2015. FONTANA, N. et al. Losses Reduction and Energy Production in Water-Distribution Networks. Journal of Water Planning Resources and Management, v. 138, n. 3, Maio 1, 2012.
13. KARADIREK, I. E. et al. Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management. Water Resources Management, v. 26, p. 2555-2568, 2012.
14. LAMBERT, A.; Non Revenue Water and Water Losses: Best Practice Water Balance Calculation. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 2002, Salvador: Anais. SEDU/PR, 2002.
15. LIBERATORE, S. et SECHI, G.M. Location and Calibration of Valves in Water Distribution Networks Using a Scatter-Search Me ta-Heuristic Approach. Water Resources Management, v. 23, p. 1479-1495, 2009.
16. NICOLINI, M. et ZOVATTO, L. Optimal Location and Control of Pres sure Reducing Valves in Water Networks. Water Resources Plan ning and Management, v. 135, n. 3, Maio 1, 2009.

17. PLANSAB – PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Básico, Ministério das Cidades, 2014.
18. SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEA MENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, Série Histórica 2001-2011. Brasília: Ministério das Cidades, 2022. Disponível em: http://www.snis.gov.br/. Acesso em: 16/05/2025.
19. SARZEDAS, G. L; YOSHIMOTO, P. M.; TARDELLI F., J. Programa Nacional de Combate ao Desperdício e Água - PNCDA - DTA1: Controle de Pressão na Rede. Brasília: SEDU/PR,1999. 43 p.
20. TAHAVORI, M. et al. Toward model-based control of non-linear hydraulic networks. Journal of Vibration and Control. v. 19, n. 14, p. 2145-2153.
21. TARDELLI F., J. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTIYA, M. T (Ed). Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Universidade de São Paulo, 2006. 3 ed., p. 457-525.
22. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Universidade de São Pau lo, 2006. 3 ed., 643p
23. ULANICKA, K. et al. Pressure Control of a Large Scale Water Distribution Network with Interacting Water Sources: A Case Study. Water Software Systems: Theory and Applications, Research Studies Press Ltd., Baldock, Hertfordshire, England, v. 2, p. 41–53, 2001.
24. VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e o Trata mento de Esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade de Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.
25. VITKOVSKÝ, J. P. et al. Leak detection and calibration using transients and genetic algorithms, Water Resources Planning and Management, ASCE, Julho/Agosto, p.258-262, 2000.
26. XU, Q. et al. Water saving and energy reduction through pressure management in urban water distribution networks. Water Resources Management. v. 28, p.3715-3726, 2014.