

## **Análise espacial de perdas reais em sistema de abastecimento de água: estudo de caso com modelagem hidráulica**

Spatial analysis of real losses in a water supply system: a case study using hydraulic modeling

Bruno Aparecido De Sousa  
Felipe Lima De Oliveira  
Helena Ferro Braga  
Alexandre Coan Pierri (Orientador)

### **RESUMO**

A eficiência dos sistemas de abastecimento de água está diretamente relacionada ao controle e à redução das perdas, especialmente as perdas reais, que representam volumes significativos de água tratada desperdiçada ao longo da rede de distribuição. No Brasil, os elevados índices de perdas evidenciam limitações operacionais, estruturais e gerenciais.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise espacial das perdas reais em um sistema de abastecimento de água por meio da modelagem hidráulica no EPANET e do uso de indicadores de desempenho. Foram aplicados o balanço hídrico conforme a International Water Association (IWA), técnicas de setorização em Distritos de Medição e Controle (DMCs) e análise espacial.

Os resultados demonstram que o aumento das perdas impacta diretamente a vazão, reduz as pressões disponíveis e eleva as perdas de carga, comprometendo a eficiência operacional. A integração entre modelagem hidráulica e análise espacial mostrou-se eficaz na identificação de áreas críticas e na proposição de medidas de controle.

**Palavras-chave:** Perdas de água; Modelagem hidráulica; EPANET; Indicadores de desempenho; Controle de pressão.

## ABSTRACT

The efficiency of water supply systems is directly related to control and reduction of losses, especially real losses, which represent significant volumes of treated water wasted along the distribution network. In Brazil, the high rates of losses show operational, structural and managerial limitations.

This study aims to perform a spatial analysis of real losses in a water supply system through hydraulic modeling in EPANET and the use of performance indicators. Water balance was applied according to the International Water Association (IWA), sectorization techniques in Measurement and Control Districts (DMCs) and spatial analysis.

The results show that the increase in losses directly impacts the flow, reduces the available pressures and increases load losses, compromising operational efficiency. The integration between hydraulic modeling and spatial analysis was effective in identifying critical areas and proposing control measures.

**Keywords:** water losses; Hydraulic modeling; EPANET; Performance indicators; Pressure control.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente pressão sobre os recursos hídricos, intensificada pelo crescimento populacional, pela urbanização e pela degradação ambiental, tem imposto desafios cada vez mais complexos à gestão dos sistemas de abastecimento de água. Em centros urbanos, a expansão contínua da demanda exige não apenas investimentos em ampliação da infraestrutura, mas sobretudo o aprimoramento da eficiência operacional dos sistemas existentes, destacando-se, nesse contexto, o controle e a redução das perdas de água como um dos principais vetores de melhoria do desempenho do setor (ALMEIDA, s.d.).

Historicamente, observa-se no setor de saneamento uma priorização de investimentos voltados à expansão dos sistemas em detrimento das ações de operação, manutenção e gestão. Essa abordagem contribui para a deterioração progressiva das infraestruturas e para o aumento dos níveis de perdas, uma vez que redes envelhecidas, equipamentos imprecisos e práticas operacionais inadequadas favorecem a ocorrência de vazamentos e falhas no controle do sistema (ALMEIDA, s.d.). Nesse cenário, torna-se evidente que a redução de perdas pode ser

tão ou mais relevante do que a ampliação da oferta, uma vez que promove ganhos de eficiência sem a necessidade de novos investimentos em captação e tratamento.

As perdas de água em sistemas de abastecimento são classificadas, de forma geral, em perdas reais (físicas) e perdas aparentes (não físicas). As perdas reais correspondem ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final, sendo decorrentes principalmente de vazamentos em adutoras, redes de distribuição, ramais e reservatórios, além de extravasamentos operacionais. Já as perdas aparentes referem-se ao volume consumido que não é devidamente contabilizado, sendo causadas por fraudes, ligações clandestinas, falhas cadastrais e imprecisões de medição (ALMEIDA, s.d.; GONÇALVES; ALVIM, 2007).

No contexto brasileiro, os índices de perdas ainda se apresentam em patamares elevados, frequentemente superiores a 35%, com médias nacionais próximas a 40%, evidenciando limitações estruturais e gerenciais nos sistemas de abastecimento (BIASUTTI, 2016; CARVALHO, 2024). Essa realidade é agravada por fatores como a heterogeneidade regional, a ausência de padronização de indicadores e as limitações na qualidade e confiabilidade dos dados disponíveis, dificultando análises comparativas e o estabelecimento de políticas públicas mais eficazes.

Sob a ótica operacional e econômica, as perdas reais representam impacto direto sobre os custos dos sistemas de abastecimento, uma vez que envolvem desperdício de água tratada e de todos os insumos associados à sua produção, incluindo energia elétrica, produtos químicos e mão de obra. Além disso, implicam na necessidade de ampliação da captação de água, aumentando a pressão sobre os mananciais e os impactos ambientais decorrentes (GONÇALVES; ALVIM, 2007). Do ponto de vista sanitário, vazamentos associados a eventos de despressurização podem permitir a entrada de contaminantes na rede, configurando risco à saúde pública (ALMEIDA, s.d.).

A avaliação das perdas de água está diretamente associada ao uso de metodologias consolidadas, sendo o balanço hídrico uma das principais ferramentas empregadas para quantificação e diagnóstico dessas perdas. Essa abordagem permite a decomposição dos volumes de água que entram no sistema em diferentes componentes, incluindo consumo autorizado, perdas reais e perdas aparentes, possibilitando uma análise detalhada das ineficiências existentes (VICENTINI, 2012). Contudo, a aplicação do balanço hídrico envolve incertezas relacionadas à medição e estimativa de variáveis, o que reforça a necessidade de aprimoramento dos sistemas de monitoramento e controle.

Nesse sentido, os indicadores de desempenho assumem papel estratégico na gestão dos sistemas de abastecimento, permitindo o acompanhamento da evolução das perdas, a comparação entre diferentes sistemas e o suporte à tomada de decisão. Indicadores como perdas na distribuição, perdas por extensão de rede e perdas por ligação são amplamente utilizados, porém ainda apresentam variações conceituais e metodológicas no contexto brasileiro, dificultando a padronização e o benchmarking entre prestadores de serviços (BIASUTTI, 2016).

Além disso, destaca-se a importância do desenvolvimento de uma cultura de medição nos sistemas de abastecimento, com a implantação de dispositivos de macromedição e micromedição que permitam a obtenção contínua de dados confiáveis. A disponibilidade de informações precisas sobre vazões, pressões e volumes é fundamental para a elaboração de diagnósticos consistentes, para a construção de modelos hidráulicos e para a definição de estratégias eficazes de controle de perdas (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

Nos últimos anos, a incorporação de ferramentas de modelagem hidráulica e análise espacial tem representado um avanço significativo na abordagem do problema das perdas reais. A modelagem hidráulica possibilita a simulação do comportamento do sistema sob diferentes condições operacionais, permitindo a identificação de áreas críticas, a análise da distribuição de pressões e a avaliação de cenários de intervenção. Já a análise espacial contribui para a visualização geográfica das perdas, facilitando a identificação de padrões e a priorização de ações de controle.

A integração dessas ferramentas com indicadores de desempenho permite uma abordagem mais abrangente e estratégica, alinhada às práticas modernas de gestão de sistemas de abastecimento. Essa integração favorece a otimização dos recursos disponíveis, a melhoria da eficiência operacional e a tomada de decisões baseada em dados, aspectos fundamentais para a sustentabilidade dos serviços de saneamento.

Adicionalmente, iniciativas institucionais voltadas à redução de perdas reforçam a importância da adoção de práticas integradas de gestão, incluindo planejamento, capacitação técnica e uso de tecnologias apropriadas, visando à melhoria contínua dos sistemas de abastecimento de água (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

Diante desse contexto, evidencia-se que a análise das perdas reais em sistemas de abastecimento de água requer uma abordagem multidisciplinar, que integre aspectos hidráulicos, operacionais, econômicos e espaciais. A utilização combinada de modelagem

hidráulica, indicadores de desempenho e técnicas de análise espacial configura-se como uma estratégia promissora para o aprimoramento da gestão e controle dessas perdas.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise espacial das perdas reais em um sistema de abastecimento de água, utilizando modelagem hidráulica e indicadores de desempenho como ferramentas de apoio. Busca-se, dessa forma, contribuir para o desenvolvimento de metodologias mais eficientes de diagnóstico e controle de perdas, promovendo ganhos de eficiência operacional, redução de custos e uso mais sustentável dos recursos hídricos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta seção apresenta uma breve revisão bibliográfica (artigos, aspectos normativos e legais) a respeito do abastecimento de água, além de caracterizar e classificar as perdas de água e seus impactos nos sistemas de abastecimento.

### **2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Os sistemas de abastecimento de água têm como finalidade captar, tratar, armazenar e distribuir água potável à população, garantindo qualidade, continuidade e quantidade adequada ao consumo. Esses sistemas são compostos por unidades integradas, incluindo captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, sendo esta última etapa a mais suscetível à ocorrência de perdas (TUCCI, 2009).

A eficiência operacional desses sistemas está diretamente associada à sua capacidade de atender à demanda com o menor nível possível de perdas e custos operacionais. No entanto, fatores como envelhecimento da infraestrutura, crescimento desordenado das cidades e limitações na gestão contribuem para o aumento das ineficiências, especialmente nas redes de distribuição (ALMEIDA, s.d.).

Além disso, a complexidade operacional dos sistemas de abastecimento exige o uso de ferramentas técnicas e gerenciais que permitam monitorar seu desempenho e identificar pontos críticos, sendo o controle de perdas um dos principais indicadores de eficiência do setor (BRASIL, 2007).

### **2.2 CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA**

As perdas de água em sistemas de abastecimento são definidas como a diferença entre o volume de água produzido e o volume efetivamente consumido e faturado. Essas perdas são tradicionalmente classificadas em perdas reais e perdas aparentes (VICENTINI, 2012).

As perdas reais correspondem aos volumes de água que se perdem fisicamente no sistema, principalmente por vazamentos em redes, adutoras, ramais e reservatórios. Já as perdas aparentes estão associadas a erros de medição, fraudes, ligações clandestinas e falhas nos sistemas comerciais (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

Segundo Lambert e Thornton (2002), essa distinção é fundamental para a definição de estratégias de controle, uma vez que cada tipo de perda exige abordagens específicas. Enquanto as perdas reais demandam intervenções físicas no sistema, as perdas aparentes requerem melhorias nos processos de medição, fiscalização e gestão comercial.

### 2.3 IMPACTOS DAS PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água geram impactos significativos sob os aspectos econômico, ambiental e operacional. Do ponto de vista econômico, representa desperdício de recursos financeiros, uma vez que envolvem custos de captação, tratamento e distribuição de água que não geram retorno financeiro (WORLD BANK, 2016).

No aspecto ambiental, as perdas contribuem para a exploração excessiva dos mananciais, agravando a escassez hídrica e aumentando os impactos ambientais associados à produção de água tratada (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023).

Sob a ótica operacional, elevados índices de perdas indicam baixa eficiência do sistema, comprometendo a qualidade do serviço prestado e dificultando a universalização do acesso à água (SNIS, 2023). Além disso, vazamentos podem causar instabilidade hidráulica e favorecer a contaminação da rede em situações de pressão negativa (ALMEIDA, s.d.).

### 2.4 BALANÇO HÍDRICO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO

O balanço hídrico é uma das principais ferramentas utilizadas para avaliação das perdas em sistemas de abastecimento. Essa metodologia permite a quantificação dos volumes de entrada e saída do sistema, possibilitando a identificação das diferentes componentes das perdas (VICENTINI, 2012).

De acordo com a International Water Association (IWA), o balanço hídrico deve ser estruturado de forma a separar claramente os volumes de consumo autorizado, perdas

aparentes e perdas reais, proporcionando uma visão detalhada do desempenho do sistema (LAMBERT; THORNTON, 2002).

Entretanto, a aplicação do balanço hídrico está sujeita a incertezas relacionadas à qualidade dos dados de medição, especialmente em sistemas com baixa cobertura de macromedição e micromedição. Essas limitações podem comprometer a precisão dos resultados e dificultar a tomada de decisão (VICENTINI, 2012).

## 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO DE PERDAS

Os indicadores de desempenho são instrumentos essenciais para a gestão das perdas de água, permitindo o monitoramento contínuo e a comparação entre diferentes sistemas.

Entre os principais indicadores utilizados destacam-se:

- Índice percentual de perdas;
- Perdas por extensão de rede;
- Perdas por ligação;
- Índice infraestrutural de perdas (ILI).

Segundo Biasutti (2016), apesar da ampla utilização desses indicadores, ainda há dificuldades na padronização de metodologias no Brasil, o que limita a comparabilidade dos resultados entre diferentes prestadores de serviços.

A padronização de indicadores é fundamental para o benchmarking e para a definição de metas de desempenho, sendo um dos principais desafios do setor de saneamento (VIANA; COELHO, 2019).

## 2.6 CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS REAIS

O controle das perdas reais envolve a adoção de medidas técnicas e operacionais voltadas à redução de vazamentos e ao gerenciamento da pressão nas redes de distribuição.

De acordo com Lambert e Thornton (2002), as principais ações para redução das perdas reais incluem:

- Controle ativo de vazamentos;
- Rapidez e qualidade nos reparos;
- Gerenciamento de pressão;
- Setorização dos sistemas.

O controle de pressão, em particular, destaca-se como uma das estratégias mais eficazes, uma vez que a redução da pressão média da rede contribui diretamente para a diminuição da frequência e da intensidade dos vazamentos (ALMEIDA, s.d.).

## 2.7 MODELAGEM HIDRÁULICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

A modelagem hidráulica é uma ferramenta fundamental para a análise e o planejamento de sistemas de abastecimento de água. Por meio dela, é possível simular o comportamento hidráulico das redes, avaliando variáveis como pressão, vazão e velocidade da água (TUCCI, 2009).

Essa ferramenta permite a identificação de áreas críticas do sistema, auxiliando na tomada de decisão quanto à implantação de medidas de controle de perdas, como instalação de válvulas redutoras de pressão e setorização da rede.

Além disso, a modelagem hidráulica possibilita a análise de diferentes cenários operacionais, contribuindo para o planejamento estratégico e para a otimização dos sistemas de abastecimento (WORLD BANK, 2016).

## 2.8 ANÁLISE ESPACIAL APLICADA ÀS PERDAS DE ÁGUA

A análise espacial consiste na utilização de ferramentas geoespaciais para interpretação e visualização de dados relacionados aos sistemas de abastecimento. Essa abordagem permite identificar padrões de distribuição das perdas e correlacioná-los com características físicas e operacionais do sistema.

A integração entre análise espacial e modelagem hidráulica proporciona uma visão mais abrangente do sistema, permitindo a priorização de áreas para intervenção e a otimização da alocação de recursos.

Segundo Pereira e Tinôco (2015), a utilização de ferramentas espaciais tem se mostrado eficaz na identificação de setores críticos, contribuindo para o aumento da eficiência das ações de controle de perdas.

## 2.9 GESTÃO DE PERDAS E SUSTENTABILIDADE

A gestão eficiente das perdas de água está diretamente relacionada à sustentabilidade dos sistemas de abastecimento. A redução das perdas contribui para a conservação dos

recursos hídricos, redução de custos operacionais e melhoria da qualidade dos serviços prestados.

Programas institucionais, como o PNCDA, reforçam a importância da adoção de práticas integradas de gestão, incluindo capacitação técnica, investimento em tecnologia e melhoria dos processos operacionais (BRASIL, 2007).

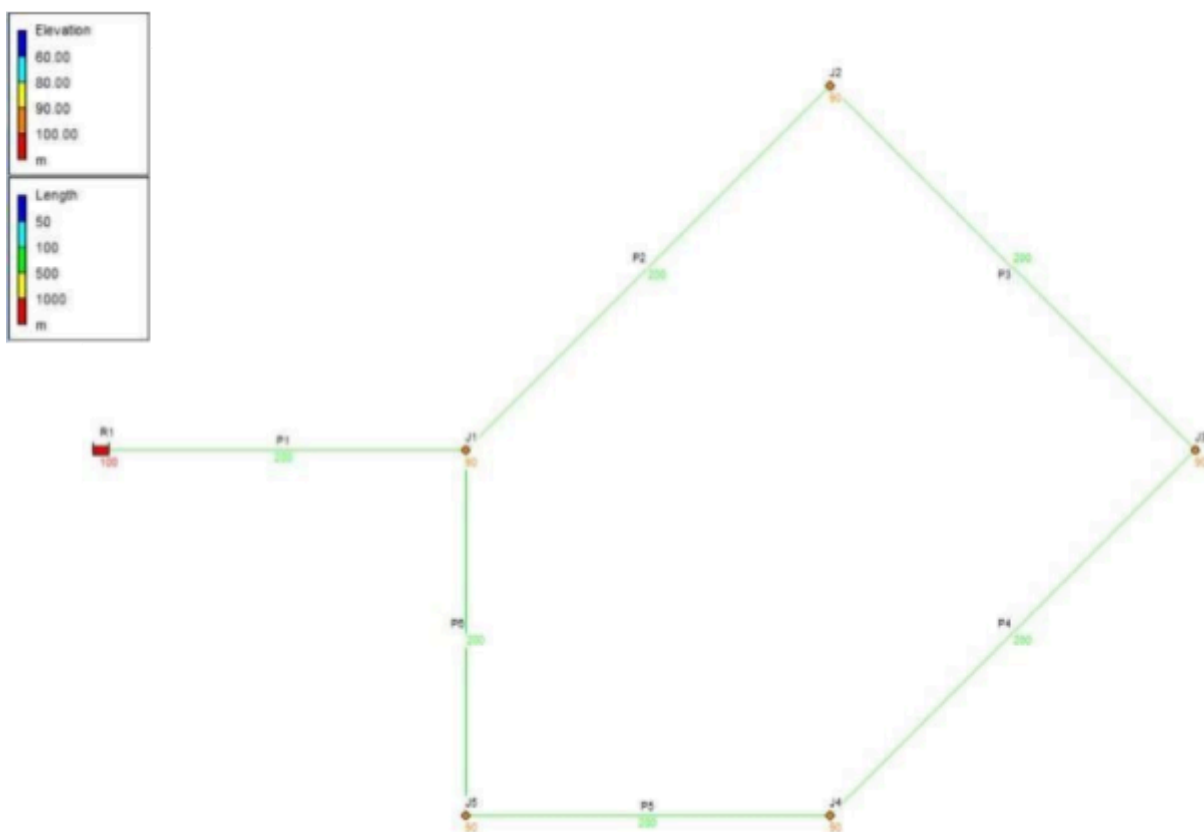
Nesse contexto, a redução de perdas deve ser entendida como uma estratégia prioritária para o aumento da eficiência e sustentabilidade dos serviços de saneamento, especialmente em cenários de escassez hídrica e restrição de recursos.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO**

Para que fosse possível entender como a teoria ocorre na prática foi feita uma simulação no software de modelagem hidráulica EPANET. O modelo consiste em um reservatório (R1) que alimenta cinco nós de consumo (J1 a J5) através de uma malha mista, conforme a figura abaixo.

Figura 01: Rede simulada



Fonte: EPANET 2026, elaborado pelo autor.

Para caracterizar e compreender as perdas do sistema o qual está sendo estudado, foram simulados três cenários distintos:

- Cenário 1: Sistema em condições ideais de operação (sem perdas);
- Cenário 2: Sistema com a introdução de perdas reais (vazamentos);
- Cenário 3: Sistema com controle de pressão para a redução das perdas

Para realização do estudo comparativo foram analisadas as variações de demanda e pressão.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CENÁRIO 1: OPERAÇÃO EM CONDIÇÃO IDEAL (SEM PERDAS)

No cenário inicial a rede operava apenas com a demanda de projeto. Os resultados encontrados são apresentados na figura abaixo:

Figura 02: Resultados Simulação Cenário 1

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc J1	0.50	99.66	9.66
Junc J2	0.50	99.60	9.60
Junc J3	0.50	99.58	9.58
Junc J4	0.50	99.58	9.58
Junc J5	0.50	99.60	9.60
Resvr R1	-2.50	100.00	0.00

Fonte: EPANET 2026, elaborado pelo autor

Neste cenário foi encontrada uma demanda total de 2,50 L/s. Além disso, a pressão média nos nós é de aproximadamente 9,60 mca.

O primeiro cenário serve como linha de base para realização das análises de comportamento da rede nos outros cenários, com anomalias.

#### 4.2 CENÁRIO 2: INTRODUÇÃO DE PERDAS REAIS (VAZAMENTOS)

Para o segundo cenário foram simulados vazamentos nos nós J2 e J4. Os resultados encontrados são apresentados na Figura 03:

Figura 03: Resultados Simulação Cenário 2

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc J1	0.50	98.61	8.61
Junc J2	1.93	98.22	8.22
Junc J3	0.50	98.18	8.18
Junc J4	1.93	98.18	8.18
Junc J5	0.50	98.34	8.34
Resvr R1	-5.36	100.00	0.00

Fonte: EPANET 2026, elaborado pelo autor

A vazão de saída no reservatório subiu de 2,50 L/s para 5,36 L/s.

Cada nó com vazamento (J2 e J4) apresentou uma demanda de 1,93 L/s, o que representa uma perda real de 1,43 L/s em cada ponto.

Tal simulação demonstra a diminuição da pressão da rede já que, a pressão no nó J1, por exemplo, caiu de 9,66 m para 8,61 m devido ao aumento da perda de carga pelo maior fluxo nas tubulações.

### 4.3 CENÁRIO 3: CONTROLE DE PRESSÃO PARA REDUÇÃO DE PERDAS

Para mitigar as perdas, a carga do reservatório foi reduzida de 100 m para 92 m. Inicialmente foi feita uma redução para 85 m, porém, as reduções excessivas da carga hidráulica ocasionaram pressões insuficientes em determinados nós, resultando em instabilidade operacional.

Figura 04: Resultados Simulação Cenário 3

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
Junc J1	0.50	91.34	1.34	0.00
Junc J2	1.04	91.18	1.18	0.00
Junc J3	0.50	91.16	1.16	0.00
Junc J4	1.04	91.16	1.16	0.00
Junc J5	0.50	91.22	1.22	0.00
Resvr R1	-3.58	92.00	0.00	0.00

Fonte: EPANET 2026, elaborado pelo autor

No cenário de redução de pressão, a carga hidráulica do reservatório foi reduzida de 100 m para 92 m, promovendo diminuição das pressões médias da rede. Como consequência, observou-se redução da demanda excedente associada aos emissores, indicando menor volume de perdas reais simuladas. No entanto, reduções excessivas (como a tentativa inicial de 85 m) levam a pressões insuficientes e instabilidade no modelo hidráulico.

## CONCLUSÃO

O aumento das perdas reais provoca impactos significativos no sistema de abastecimento, afetando diretamente seu desempenho hidráulico e operacional. Entre os

principais efeitos observados estão a sobrecarga hidráulica, a redução das pressões disponíveis na rede, o aumento das perdas de carga e a elevação do consumo energético. Esses fatores, em conjunto, tornam o sistema menos eficiente e mais suscetível a falhas.

A análise das simulações realizadas no software EPANET permitiu uma compreensão profunda da dinâmica hidráulica da rede sob condições de falha e de intervenção operacional. Os resultados levam às seguintes conclusões fundamentais:

Com a introdução de vazamentos simulados nos nós J2 e J4, o sistema apresentou alterações significativas em seu desempenho. A demanda total exigida do reservatório saltou para 5,36 L/s, evidenciando uma perda real de 1,43 L/s em cada ponto de vazamento. Esse incremento no fluxo resultou em uma redução generalizada das pressões na rede, com os nós afetados registrando valores de 8,22 m e 8,18 m, o que demonstra como a presença de perdas compromete a pressão disponível para o consumidor final e eleva drasticamente a demanda de produção.

Como estratégia de mitigação, o terceiro cenário explorou a redução da carga hidráulica do reservatório de 100 m para 92 m. Embora uma tentativa inicial de redução para 85 m tenha causado pressões insuficientes e instabilidade operacional, o ajuste para 92 m mostrou-se eficaz. Essa intervenção promoveu a diminuição das pressões médias e, conseqüentemente, reduziu a demanda excedente associada aos vazamentos, que caiu de 1,93 L/s para 1,04 L/s nos nós críticos. Os dados comprovam que o volume de perdas reais é diretamente influenciado pela pressão operacional, validando o controle de carga como uma ferramenta de gestão hídrica.

Por fim, a simulação demonstrou que a setorização da rede, aplicada no quarto cenário com o retorno da carga para 100 m, representa a estratégia mais robusta para a gestão do sistema. A organização da rede em setores permite uma localização mais precisa das perdas e melhora a gestão operacional, reduzindo instabilidades hidráulicas.

Para o controle dessas perdas, é fundamental a adoção de medidas como a setorização da rede por meio de Distritos de Medição e Controle (DMCs), a instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs), o monitoramento contínuo do sistema, a realização de manutenção preventiva e a detecção ativa de vazamentos. Essas ações contribuem para a redução das perdas e para a melhoria da eficiência operacional.

Conclui-se que o combate às perdas reais exige uma abordagem integrada que combine o controle rigoroso de pressões com a setorização, garantindo a eficiência energética, a sustentabilidade do abastecimento e a estabilidade das pressões fornecidas à população. Nesse contexto, a modelagem hidráulica aliada à análise espacial mostra-se essencial para a

identificação de áreas críticas e para a definição de estratégias eficazes de controle. Recomenda-se, portanto, a incorporação dessas medidas ainda na fase de projeto, bem como a implementação de monitoramento contínuo, visando maior eficiência e sustentabilidade do sistema.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, Diogo Fonseca Carbonari de. **Controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, s.d.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BIASUTTI, André Luiz. **Indicadores de perdas para serviços de abastecimento de água: padronização e limitações da aplicação no Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA): diretrizes e instrumentos básicos**. Brasília: SNSA, 2007.

CARVALHO, Débora da Costa. **Indicadores de perdas de água no saneamento no Brasil entre 2010 e 2018**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 2024. Environmental Protection Agency. EPANET 2 Users Manual. Cincinnati, 2000.

GONÇALVES, Elton; ALVIM, Paulo Roberto Ambrósio. **Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2007.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de água 2023 (SNIS 2021): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2023.

LAMBERT, Allan; THORNTON, Julian. **Practical approaches to water loss reduction**. London: International Water Association, 2002.

MCKENZIE, R.; SEAGO, C.; LIEMBERGER, R. **Benchmarking of water losses in developing countries**. London: IWA Publishing, 2012.

PEREIRA, José; TINÔCO, Iara. **Avaliação das perdas de água em sistema de abastecimento: estudo de caso em Parnamirim/RN**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2015.

RELATÓRIO TÉCNICO – ANÁLISE COMPARATIVA DE PERDAS DE CARGA EM REDES DE ABASTECIMENTO

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – SNIS 2022**. Brasília: Ministério das Cidades, 2023.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.  
VIANA, André Luiz; COELHO, Marcos. **Normalização de indicadores de perdas de água: a experiência das agências reguladoras no Brasil**. Revista DAE, São Paulo, 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPANET**: software. Versão 2.2. Washington, D.C.: EPA, 2020. Disponível em: [epa.gov](http://epa.gov).

VICENTINI, Liliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

WORLD BANK. **Reducing water losses in developing countries: policy and practice**. Washington, DC: World Bank, 2016.