



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**LUIZ FELIPE SANTOS DE SOUSA**

**MEDIDAS PARA REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

João Pessoa – PB

2025

LUIZ FELIPE SANTOS DE SOUSA

Medidas para Redução de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

João Pessoa - PB

2025

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S725m Sousa, Luiz Felipe Santos de.  
Medidas Para Redução de Perdas de Água em Sistemas  
de Abastecimento de Água / Luiz Felipe Santos de Sousa.  
- João Pessoa, 2025.  
66 f. : il.

Orientação: Dr Gilson B Athayde Jr.  
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Perdas de Água; Sistemas de Abastecimento;  
Redução. I. Athayde Jr, Dr Gilson B. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

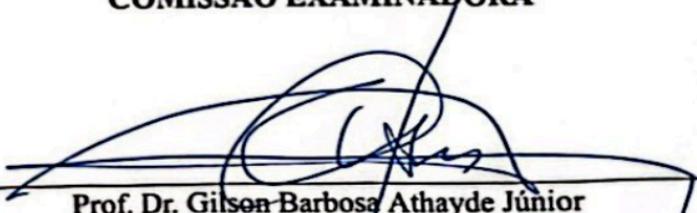
LUIZ FELIPE SANTOS DE SOUSA

Medidas para Redução de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil pela  
Universidade Federal da Paraíba.

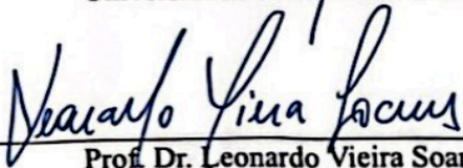
João Pessoa, 24 de 04 de 2025.

**COMISSÃO EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Gilson-Barbosa Athayde Júnior  
Universidade Federal da Paraíba



---

Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares  
Universidade Federal da Paraíba



---

Profa. Dra. Aline Flávia Nunes Remigio Antunes  
Universidade Federal da Paraíba



*Dedico este trabalho ao meu pai e à minha mãe, que, debaixo de muito sol, me fizeram chegar até aqui, na sombra.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, fonte de toda sabedoria e força. Durante esta caminhada, enfrentei desafios, dúvidas e momentos de cansaço, mas Sua presença sempre me sustentou e renovou minhas forças. Sem Ele, nada disso teria sido possível. Que toda honra e glória sejam d'Ele, pois foi pela Sua graça que cheguei até aqui.

Aos meus pais, Humberto e Luzimar, por todo amor, apoio e incentivo incondicional. Vocês sempre acreditaram em mim, mesmo nos momentos em que eu mesmo duvidei. Obrigado por cada palavra de motivação, cada gesto de carinho e todo sacrifício feito para que eu pudesse chegar até aqui. Aos meus irmãos, Bia e Lucas, por serem durante muitas vezes, meu suporte e inspiração, saibam que mesmo com a distância, sempre seremos o trio de sempre. Agradeço também a Rafa, Gilvandro e Paty por toda força e apoio de sempre. O sucesso desta jornada também é de vocês.

Aos amigos, companheiros de curso, risadas, frustrações e incertezas, que compartilharam comigo esta jornada acadêmica, Candido Filho, Gabriel Oliveira, Vinicius Dantas, Guilherme Costa, Thales Albert, André Meira, Breno Lyra, Pedro Borges, Gabriel Henrique, Joylson Medeiros, Italo Vivacqua e Thomás Vinicius, minha eterna gratidão. Foram horas de estudos, debates, trabalhos intermináveis e, claro, muitos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve. Cada conversa, cada apoio e cada risada foram fundamentais para manter a motivação e seguir em frente.

Aos amigos que, independentemente do tempo e da distância, sempre estiveram ao meu lado, Rogério Netto, Gabriel Araújo, Bruno Amorim, Renan Henri, Lucas Espinola, Vinicius Farias, Maria Alyce, Vitória Sodré, Luís Arthur, Luiz Edir, Deborah Kalynne, Lucy Oliveira, Laura Beatriz, Malu Tavares, Romberg S , Sofia Agra, Laura Medeiros, Stephanie Rodrigues, Camila Moraes, Carlos Octávio, Herick, Tarcila, Beatriz Lima, Otávio, Rebecca Nery, Zadig, Mariana Deodato, Guilherme Henrique, Pedro Luna, Larissa Félix, Yasmim Jansen, Victória Paiva, L via Oliveira e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse até aqui, o apoio e carinho de vocês me fez mais forte, meu muito obrigado. Vocês foram meu refúgio nos momentos de tensão e ansiedade, trazendo leveza para os dias difíceis. Saber que podia contar com vocês fez toda a diferença.

Aos professores, meu profundo respeito e gratidão. Em especial, ao professor Gilson, por sua paciência, dedica o e orienta o ao longo deste trabalho. A todos os mestres que contribuíram para minha forma o, meu muito obrigado por cada ensinamento que levarei para a vida.

Finalizo esta sessão com o cora o cheio de gratidão, ciente de que esta conquista não é apenas minha, mas de todos aqueles que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada.

"O Senhor fez coisas grandiosas por nós, e por isso  
estamos alegres."

Salmos 126:3

## RESUMO

A crescente preocupação com a escassez hídrica e a sustentabilidade dos recursos naturais tem impulsionado a busca por soluções eficientes na gestão dos sistemas de abastecimento de água (SAA). Uma das áreas de maior destaque é a redução das perdas de água, um desafio complexo com impactos significativos nas esferas econômica, ambiental, de saúde pública e social. A presente revisão bibliográfica visa consolidar o conhecimento existente sobre as diversas medidas e estratégias para mitigar as perdas de água nos SAA, abrangendo tanto as perdas reais (físicas), resultantes de fugas nos condutos, reservatórios e ligações, quanto às perdas aparentes (comerciais), decorrentes de erros de medição, fraudes e consumos não autorizados. A literatura consultada enfatiza a importância de um diagnóstico preciso das perdas através do balanço hídrico, identificando as componentes de água não faturada (ANF). A partir desse diagnóstico, são propostas diversas estratégias de intervenção. No combate às perdas reais, destacam-se o controle ativo de fugas por meio de detecção e reparação eficientes, a gestão da pressão nas redes, a renovação e manutenção das infraestruturas, e a setorização das redes para facilitar a localização de vazamentos e o controle de pressões. A implementação de Distritos de Medição e Controle (DMC's) também se mostra uma prática eficaz para o monitoramento e controle das perdas em áreas delimitadas. No que concerne às perdas aparentes, a substituição de contadores de água obsoletos e imprecisos, o combate ao consumo não autorizado através de inspeções e regularizações, e a melhoria dos processos de leitura e faturação são apontados como medidas cruciais. A adoção de tecnologias como a telemetria para o monitoramento remoto de consumos também contribui para a detecção de anomalias e potenciais fraudes. A análise de casos de estudo, como o da Águas de Gaia, da CESAN em Ibatiba, do SAAE de Itapira e da SABESP em São Paulo, ilustra a aplicação prática dessas medidas e os resultados obtidos na redução dos índices de perdas. A literatura também ressalta a importância de planos de ação integrados, do envolvimento das equipes operacionais e comerciais, do investimento em formação e tecnologia, e do estabelecimento de metas claras e indicadores de desempenho para o acompanhamento e avaliação da eficácia das ações implementadas. Adicionalmente, a conscientização da população sobre o uso eficiente da água é considerada um fator complementar importante. Em suma, a revisão bibliográfica evidencia que a redução de perdas de água nos SAA requer uma abordagem multifacetada e contínua, combinando intervenções técnicas, comerciais, de gestão e de sensibilização, adaptadas à realidade de cada sistema e entidade gestora.

**Palavras-chave:** Perdas de Água; Sistemas de Abastecimento; Redução de Perdas.

## ABSTRACT

The growing concern over water scarcity and the sustainability of natural resources has driven the search for efficient solutions in the management of water supply systems (WSS). One of the most critical areas is water loss reduction, a complex challenge with significant economic, environmental, public health, and social impacts. This literature review aims to consolidate existing knowledge on various measures and strategies to mitigate water losses in WSS, covering both real (physical) losses—resulting from leaks in pipelines, reservoirs, and connections—and apparent (commercial) losses—caused by metering errors, fraud, and unauthorized consumption. The reviewed literature highlights the importance of accurately diagnosing losses through water balance analysis to identify components of non-revenue water (NRW). Based on this diagnosis, several intervention strategies are proposed. To combat real losses, key measures include active leakage control through efficient detection and repair, pressure management in networks, infrastructure maintenance and renewal, and network sectorization to facilitate leak location and pressure control. The implementation of District Metered Areas (DMAs) has also proven to be an effective practice for monitoring and controlling losses in designated areas. Regarding apparent losses, crucial measures involve replacing obsolete and inaccurate water meters, tackling unauthorized consumption through inspections and regularization, and improving reading and billing processes. The adoption of technologies such as telemetry for remote consumption monitoring also contributes to anomaly detection and fraud prevention. Case studies, including Águas de Gaia, CESAN in Ibatiba, SAAE in Itapira, and SABESP in São Paulo, illustrate the practical application of these measures and their effectiveness in reducing water loss rates. The literature further emphasizes the importance of integrated action plans, engagement of operational and commercial teams, investment in training and technology, and the establishment of clear goals and performance indicators for monitoring and evaluating implemented actions. Additionally, raising public awareness about efficient water use is considered an important complementary factor. In summary, the literature review demonstrates that reducing water losses in WSS requires a multifaceted and continuous approach, combining technical, commercial, managerial, and awareness-raising interventions tailored to the specific realities of each system and managing entity.

**Keywords:** Water Losses; Supply Systems; Loss Reduction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de uma estação de tratamento de água.....	19
Figura 2 – Ligações clandestinas são exemplos de perdas aparentes.....	21
Figura 3 – Vazamento em tubulações, é um exemplo de perda física.....	22
Quadro 1 – Técnicas de detecção de vazamentos, vantagens e desvantagens.....	34
Quadro 2 – Comparação entre as técnicas.....	36
Quadro 3 – Principais práticas de gestão para a redução de perdas, os métodos, aspectos-chave e suas vantagens.....	58

## LISTA DE ABREVIACÕES

ABES - Engenharia Sanitária e Ambiental  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AGS - Agência de Gestão de Água e Esgoto - SP  
ANF - Água Não Faturada  
CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais  
DMC - Distritos de Medição e Controle  
ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e resíduos  
ETA - Estações de Tratamento de Água  
ILI - Índice Infraestrutural de Fugas  
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
IPRL • Índice de Perdas Reais por Ligação  
IWA - International Water Association  
ONU - Organização das Nações Unidas  
PDCA - Plan-Do-Check-Act  
SAA - Sistemas de Abastecimento de Água  
SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto  
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo  
SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition  
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
VRP - Válvulas Redutoras de Pressão

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1 GESTÃO HÍDRICA AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
2.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)	18
2.3 PROBLEMAS DAS PERDAS DE ÁGUA	20
<b>2.3.1 Tipos de Perdas de Água: Aparentes e Reais</b>	<b>21</b>
2.4 IMPACTO GLOBAL DAS PERDAS	23
<b>2.4.1 Impactos Ambientais</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2 Impactos Sociais</b>	<b>23</b>
<b>2.4.3 Impactos Operacionais</b>	<b>24</b>
<b>2.4.4 Impactos Econômicos</b>	<b>24</b>
2.5 A NECESSIDADE DE REDUZIR AS PERDAS	25
<b>2.5.1 Gestão Eficiente da Água</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2 Sustentabilidade Ambiental</b>	<b>25</b>
<b>2.5.3 Segurança Hídrica</b>	<b>26</b>
<b>2.5.4 Regulamentação e Normas Ambientais</b>	<b>26</b>
2.6 CAUSAS E DESAFIOS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS	27
<b>2.6.1 Causas das Perdas de Água nos Sistemas de Abastecimento</b>	<b>27</b>
2.7 MEDIDAS PARA A REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	28
2.8 BENEFÍCIOS DA REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO	30
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>32</b>
<b>4. PRINCIPAIS MEDIDAS ADOTADAS NA REDUÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.</b>	<b>34</b>
4.1 MONITORAMENTO E DETECÇÃO DE VAZAMENTO.	34
<b>4.1.1 Análise Comparativa entre Técnicas</b>	<b>35</b>
4.2 CONTROLE DE PRESSÃO NA REDE	37
<b>4.2.1 Instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP)</b>	<b>37</b>

<b>4.2.2 Setorização da Rede</b>	<b>39</b>
<b>4.2.3 Eficiência e Custo de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) e Setorização da Rede.</b>	<b>41</b>
4.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	42
<b>4.3.1 Estudo de Caso: Programa de Manutenção Preventiva e sua Eficácia</b>	<b>43</b>
4.4 MÉTODOS DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES DE ÁGUA	45
<b>4.4.1 Melhoria da Medição</b>	<b>45</b>
<b>4.4.2 Estudo de Caso: Implementação de Hidrômetros Inteligentes e seu Impacto na Arrecadação</b>	<b>46</b>
4.5 AUDITORIAS E FISCALIZAÇÃO	47
<b>4.5.1 Estudo de Caso: Ações de Fiscalização e os Resultados Obtidos</b>	<b>49</b>
4.6 SISTEMA DE GESTÃO COMERCIAL	49
<b>4.6.1 Estudo de Caso</b>	<b>50</b>
<b>4.6.3 Eficiência e Custos</b>	<b>51</b>
<b>5 ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO E QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO: BALANÇO HÍDRICO PROPOSTO PELA IWA E OS INDICADORES DE DESEMPENHO.</b>	<b>52</b>
5.1 APRESENTAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO E QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS	52
<b>5.1.1 Balanço Hídrico da IWA (International Water Association)</b>	<b>52</b>
<b>5.1.2 Indicadores de Desempenho</b>	<b>53</b>
5.2 ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS	55
<b>6 ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE GESTÃO MAIS EFICAZES PARA A REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS E APARENTES</b>	<b>58</b>
6.1 PRÁTICAS DE GESTÃO PARA REDUÇÃO DE PERDAS	58
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As perdas de água em sistemas de abastecimento configuram um grande desafio para as entidades gestoras, gerando impactos em diversas áreas, como economia, técnica, meio ambiente, saúde pública e aspectos sociais (Uzcategui, 2017). Essas perdas são classificadas em reais e aparentes, sendo que as perdas reais correspondem à água disponibilizada para consumo, mas que não chega aos consumidores devido a vazamentos em diferentes pontos do sistema, como adutoras, estações de tratamento, redes de distribuição, ramais, conexões e reservatórios. Por outro lado, as perdas aparentes se referem à água que é fornecida, mas não é devidamente medida ou registrada, abrangendo erros de medição, fraudes e ligações clandestinas (Costa *et al.*, 2024).

No Brasil, o índice de perdas de água pode atingir até 37%, um valor que supera consideravelmente a média internacional de 17%, evidenciando a gravidade do problema (Feliciano *et al.*, 2016). A água não faturada (ANF), que engloba essas perdas, serve como um importante indicador da eficiência operacional das empresas de abastecimento. Quanto maior o índice de ANF, maior o potencial de redução de desperdício e economia financeira, mas também mais complexo se torna o processo de mitigação das perdas (Silva *et al.*, 2018). As perdas aparentes têm um impacto econômico ainda mais significativo, pois a água que não é devidamente registrada para faturamento inclui os serviços de água, esgoto e, em alguns casos, o tratamento de resíduos sólidos (Uzcategui, 2017).

A redução das perdas de água pode trazer benefícios expressivos, como a diminuição dos custos de produção e a minimização dos impactos ambientais associados à exploração excessiva dos recursos hídricos (Mathias e Manzi, 2015). Além disso, o controle eficaz das perdas permite postergar investimentos em expansão de infraestrutura de captação e tratamento de água, gerando economia para as entidades gestoras (Feliciano *et al.*, 2016).

O problema central investigado é o desafio das perdas de água em sistemas de abastecimento, que impactam negativamente o desempenho operacional e financeiro das entidades gestoras, além de agravarem a crise ambiental e hídrica. No Brasil, o índice de perdas de água pode atingir 37%, evidenciando a necessidade de medidas urgentes.

O objetivo geral é analisar e sintetizar as principais medidas para a redução de perdas físicas (reais) e aparentes em sistemas de abastecimento de água, identificadas na literatura, de modo a fornecer uma visão abrangente e atualizada das estratégias e tecnologias mais eficazes. Objetivos Específicos são:

i-) identificar e classificar as principais causas de perdas físicas e aparentes em sistemas de abastecimento de água.

ii-) analisar criticamente as metodologias de diagnóstico e quantificação de perdas em sistemas de abastecimento, como o balanço hídrico proposto pela IWA e os indicadores de desempenho.

iii-) investigar e descrever as tecnologias e práticas de gestão mais eficazes para a redução de perdas físicas.

A relevância desta pesquisa concentra-se em abordar um problema de extrema importância para a área de Engenharia Civil e para a sociedade em geral: as perdas de água em sistemas de abastecimento. Esse tema é pertinente, considerando que, no Brasil, os índices de perdas alcançam valores alarmantes, impactando negativamente o desempenho operacional, financeiro e ambiental das companhias de saneamento.

Do ponto de vista da área de conhecimento, a pesquisa contribui para o avanço das práticas de gestão hídrica, com ênfase na identificação de soluções técnicas e práticas para reduzir perdas reais e aparentes. Isso inclui estratégias como controle de pressão, manutenção preventiva e auditorias, promovendo eficiência hídrica e sustentabilidade. Para a sociedade, sua relevância reside na preservação de um recurso vital, promovendo segurança hídrica, acesso igualitário à água e minimização de impactos ambientais, além de benefícios econômicos decorrentes da redução de custos operacionais. Esse trabalho apoia diretamente a conscientização pública sobre o uso responsável dos recursos hídricos e a necessidade de práticas sustentáveis.

O presente trabalho teve como metodologia uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e descritivo, com o objetivo de identificar e analisar as principais medidas para a redução das perdas de água, tanto reais (físicas) quanto aparentes (não físicas), em sistemas de abastecimento de água. A revisão também buscou identificar análises comparativas de custos associados a essas medidas e as estratégias de implantação reportadas na literatura. A revisão abrangeu artigos científicos, teses, dissertações, livros técnicos e revistas científicas relevantes para a temática.

O TCC está organizado em uma estrutura sólida e detalhada, composta por várias seções que abordam diferentes aspectos do tema. A fundamentação teórica explora conceitos sobre gestão hídrica, sistemas de abastecimento e impactos das perdas. Em seguida, a metodologia explica o método de revisão bibliográfica usado para identificar e analisar medidas de redução. Há seções dedicadas à identificação e classificação das causas de perdas, métodos específicos de combate às perdas reais e aparentes, e a análise crítica das

metodologias de diagnóstico e quantificação de perdas, como o balanço hídrico e os indicadores de desempenho. Por fim, o trabalho apresenta uma análise das práticas de gestão mais eficazes para reduzir as perdas, concluindo com as considerações finais sobre o impacto e importância das medidas propostas.

Este estudo destaca que reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento é um desafio complexo que requer uma abordagem integrada de soluções técnicas, financeiras e administrativas. As comparações feitas entre as diversas táticas, levando em conta custos, benefícios, desvantagens e fatores de execução, oferecem uma visão crucial para as organizações responsáveis que desejam melhorar sua eficácia e promover a gestão sustentável dos recursos de água. A investigação também ressaltou a necessidade de levar em conta as particularidades de cada sistema, ajustando as ações e estratégias para obter os resultados mais eficazes na diminuição das perdas hídricas.

Portanto, a gestão eficiente dos sistemas de abastecimento, com ênfase no controle de perdas, é essencial para promover o desenvolvimento social, econômico e ambiental (Mathias e Manzi., 2015). A regularização do sistema e a implementação de medidas de controle de perdas têm o potencial de melhorar a qualidade de vida, garantir o acesso à água potável e fortalecer a conscientização pública sobre a importância da preservação dos recursos hídricos (Feliciano *et al.*, 2016).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 GESTÃO HÍDRICA AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A água é essencial para a existência e evolução da humanidade, sendo fundamental para a saúde pública, agricultura, setores industriais e a economia. Segundo Pizzo *et al.* (2021), é um recurso natural indispensável para a vida, que tem sido afetado pelo crescimento acelerado e desordenado da população, resultando em uma necessidade crescente e insustentável. Historicamente, a água tem estado ligada ao progresso socioeconômico, sempre sendo considerada fundamental para a saúde, a produção alimentar e o avanço das sociedades.

Esse recurso desempenha um papel central na economia, pois sua disponibilidade e qualidade influenciam diretamente a produtividade e o bem-estar social. Além disso, sua relação com a geração de energia hidrelétrica – uma das principais fontes energéticas do Brasil – reforça ainda mais sua importância estratégica. Na agricultura, sua relevância não fica atrás, como destacam Silva *et al.* (2021). A irrigação responde por cerca de 70% do consumo global de água, tornando o uso eficiente desse recurso fundamental para garantir a segurança alimentar e evitar desperdícios desnecessários. Já na indústria, a água é peça-chave em processos de resfriamento, limpeza e produção, sendo um elemento essencial para inúmeras cadeias produtivas.

No entanto, administrar os recursos hídricos nunca foi tarefa fácil – e os desafios só aumentam. O crescimento populacional, a urbanização acelerada e as mudanças climáticas impõem uma pressão crescente sobre os mananciais ao redor do mundo. Silva (2020) aponta que, segundo estimativas da ONU, a população global deve atingir impressionantes 9,7 bilhões de pessoas até 2050, ampliando ainda mais a demanda por água para abastecimento, agricultura e indústria. Esse cenário exige dos gestores uma abordagem equilibrada, garantindo a oferta do recurso sem comprometer sua disponibilidade futura.

E como se não bastasse, há ainda o impacto das mudanças climáticas. A alteração nos padrões de precipitação, as secas prolongadas e a redução da oferta de água em diversas regiões representam desafios críticos para a segurança hídrica. De acordo com o IPEA (2022), esses eventos exigem estratégias mais adaptáveis, como a otimização do consumo e a implementação de tecnologias para reaproveitamento e uso racional da água.

Diante desse panorama, uma gestão eficiente dos recursos hídricos não é apenas desejável – é essencial. A diminuição na oferta de água, intensificada pelas mudanças climáticas, obriga os sistemas de abastecimento a adotar medidas mais inteligentes para

captação, tratamento e distribuição. A incorporação de tecnologias inovadoras para reaproveitamento e uso sustentável deve ser uma prioridade, garantindo maior resiliência frente às variações climáticas e assegurando que esse recurso vital continue disponível para as próximas gerações.

## 2.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)

Os sistemas de abastecimento de água desempenham um papel essencial na captação, tratamento, distribuição e preservação da qualidade da água destinada à população. Esse processo é composto por etapas fundamentais que garantem que a água chegue de forma segura e adequada aos consumidores.

Uma vez captada, a água segue para o tratamento, um processo indispensável para eliminar impurezas e microrganismos nocivos, garantindo sua adequação ao consumo humano. Esse procedimento envolve diversas etapas, como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, além do controle de parâmetros físico-químicos, como pH e turbidez.

Segundo Machado *et al.* (2023), a fase de coagulação é um dos primeiros passos nesse processo e tem a função de remover partículas suspensas e outras impurezas. Nessa etapa, substâncias coagulantes, como sulfato de alumínio ou cloreto férrico, são adicionadas à água para neutralizar cargas elétricas, permitindo que as partículas se unam e formem flocos maiores, facilitando sua remoção nas fases seguintes. Logo após, ocorre a floculação, que consiste na agitação controlada da água para intensificar o contato entre as partículas, promovendo a formação de flocos ainda maiores, que serão posteriormente eliminados por sedimentação ou filtração.

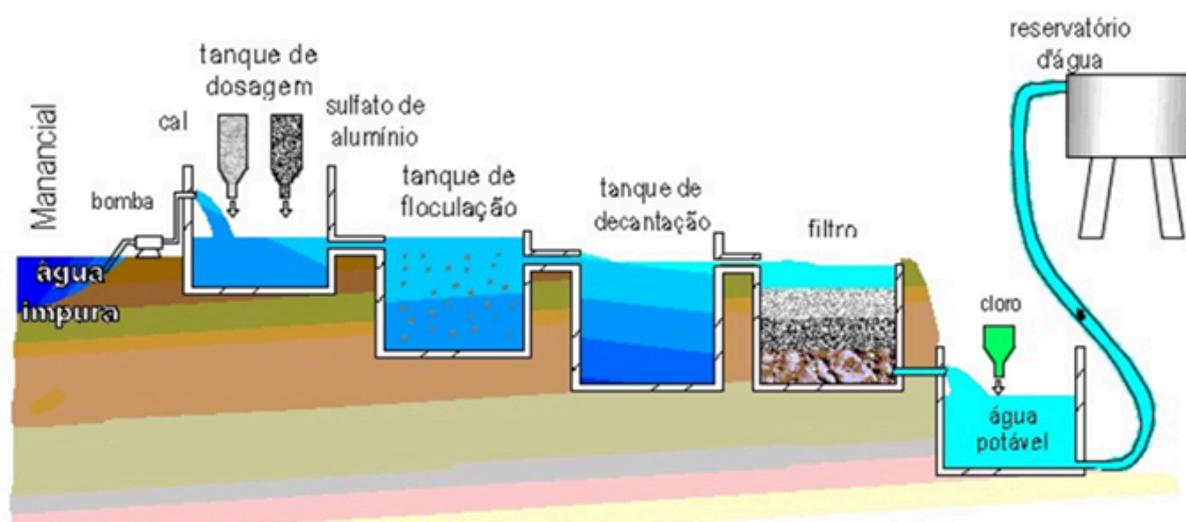
Ferreira (2022) afirma que essa etapa é responsável por remover impurezas físicas, químicas e biológicas. Nesse processo, a água passa por diferentes camadas de materiais filtrantes, como areia, carvão ativado e pedras, que retêm poluentes sólidos, gases dissolvidos e compostos orgânicos. Esse fluxo ocorre de cima para baixo, impulsionado por uma combinação de pressão e sucção, garantindo a remoção eficaz de contaminantes e a melhoria da qualidade da água.

Ainda segundo Ferreira (2022), a etapa de desinfecção assegura a eliminação de microrganismos prejudiciais à saúde, tornando a água própria para o consumo. O cloro é o desinfetante mais utilizado mundialmente para esse fim, devido à sua alta eficiência, facilidade de aplicação e baixo custo operacional. Independentemente do tamanho do sistema

de distribuição, esse processo é indispensável para garantir a segurança sanitária da água e evitar riscos à saúde pública.

Dessa forma, o abastecimento de água envolve uma série de processos técnicos e estratégicos que garantem não apenas a disponibilidade do recurso, mas também sua qualidade e segurança. Investimentos contínuos em infraestrutura, monitoramento e preservação ambiental são essenciais para assegurar que esse sistema funcione de maneira eficiente e sustentável ao longo do tempo. A figura 1 descreve o esquema de uma estação de tratamento de água convencional.

Figura 1 - Esquema de uma estação de tratamento de água



Fonte: Viana, 2018

Após o tratamento, a água segue sua jornada até os consumidores, percorrendo uma vasta rede de tubulações que compõem o sistema de distribuição. Esse processo é crucial, pois qualquer falha, como vazamentos ou desperdícios, pode comprometer a eficiência do abastecimento. Supondo uma rede mal gerida, onde pequenas fissuras passam despercebidas – litros e mais litros de água tratada se perdem diariamente. Para evitar esse problema, a supervisão contínua das redes e o uso de tecnologias avançadas para a detecção de perdas tornam-se indispensáveis, garantindo um funcionamento mais eficiente e sustentável do sistema (Morais, 2010).

Por fim, a água chega ao seu destino: o consumo. Mas a missão não acaba aqui, é essencial que sua qualidade seja preservada até o momento em que for utilizada pelo público.

Para isso, uma gestão eficaz do abastecimento deve incluir um planejamento integrado que contemple desde o monitoramento da qualidade da água até campanhas educativas voltadas para o uso consciente. Além disso, a manutenção e conservação das redes de distribuição são fundamentais para evitar contaminações e garantir que o recurso chegue em perfeitas condições aos usuários.

A luta contra as perdas de água é um desafio constante e exige soluções inovadoras para minimizar desperdícios e assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos. Estratégias como o controle de pressão, a setorização da rede e a adoção de tecnologias de rastreamento desempenham um papel essencial na melhoria da eficiência operacional dos sistemas de abastecimento. Essas ações não apenas garantem uma distribuição mais eficiente, mas também reforçam a segurança hídrica, assegurando que as futuras gerações tenham acesso a esse bem tão precioso.

### 2.3 PROBLEMAS DAS PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água em sistemas de abastecimento representam um grande desafio para a gestão hídrica. Petri (2024) afirma que esse desperdício ocorre quando a água tratada não chega ao consumidor final ou não é devidamente contabilizada, comprometendo a eficiência do sistema. As causas são diversas, desde vazamentos em tubulações e falhas na medição de hidrômetros até ligações clandestinas e extravasamento de reservatórios.

Durante todo o processo de abastecimento, da captação à distribuição, uma quantidade significativa de água pode ser perdida. Segundo Pontes (2023), em muitos casos, isso ocorre devido a vazamentos não detectados ou à deterioração da infraestrutura. Sistemas antigos, com tubulações desgastadas, tendem a apresentar índices ainda mais altos de desperdício, exigindo investimentos constantes em manutenção e monitoramento.

Além da questão ambiental, de acordo com Petri (2024), as perdas de água geram impactos financeiros expressivos para as companhias de saneamento. A água desperdiçada não pode ser faturada, reduzindo a arrecadação e aumentando os custos operacionais. Diante disso, uma gestão eficiente das perdas torna-se indispensável para melhorar o desempenho dos sistemas, promover maior sustentabilidade e otimizar recursos.

#### 2.3.1 Tipos de Perdas de Água: Aparentes e Reais

As perdas de água podem ser classificadas em duas categorias principais: perdas aparentes e perdas reais (físicas).

As perdas aparentes, de acordo com Tardelli (2006 *apud* Petri, 2024), também conhecidas como perdas comerciais, representam um grande desafio para as companhias de saneamento. Elas ocorrem quando a água é consumida, mas não registrada corretamente pelos sistemas de medição, resultando em falhas na tarifação. As causas são diversas: fraudes, ligações clandestinas e adulteração de hidrômetros estão entre os principais problemas. Além disso, inconsistências nos cadastros comerciais e falhas na medição contribuem para o agravamento desse cenário. A figura 2 exemplifica as ligações clandestinas, que são as perdas aparentes.

Figura 2 - Ligações clandestinas são exemplos de perdas aparentes



Fonte: SAEC, 2019.

Para identificar e reduzir essas perdas, é essencial um olhar atento da gestão comercial. Auditorias detalhadas, inspeções em amostras representativas de consumidores e a verificação contínua do cadastro de ligações são medidas fundamentais. Além disso, o desgaste natural dos hidrômetros, a calibração inadequada e a escolha errada dos equipamentos de medição podem comprometer a precisão dos registros. Essas falhas impactam não apenas a arrecadação das concessionárias, mas também a eficiência na gestão dos recursos hídricos. Por isso, a implementação de estratégias eficazes de controle e mitigação é indispensável (Vicentini, 2012; Andrigo, 2022).

Já as perdas reais, ou físicas, segundo Pontes (2023), referem-se ao volume de água que se perde fisicamente antes de chegar ao consumidor final. Vazamentos em tubulações,

extravasamentos de reservatórios e falhas estruturais são os principais responsáveis por esse desperdício. Esse tipo de perda não só compromete a eficiência do abastecimento, mas também pressiona os mananciais, exigindo maior captação e aumentando os custos operacionais. A figura 3 mostra vazamentos em tubulações, que é um exemplo de perda física.

Figura 3 - Vazamento em tubulações, é um exemplo de perda física



Fonte: Calixto, 2015.

Se as perdas aparentes preocupam, as perdas reais não ficam atrás. Esse tipo de perda refere-se à água que se perde fisicamente antes de chegar ao consumidor final. Vazamentos em adutoras, redes de distribuição, ramais prediais e extravasamento de reservatórios são os grandes vilões desse desperdício. O problema é duplo: além de causar prejuízos financeiros, essas perdas exercem uma enorme pressão sobre os mananciais, exigindo maior retirada de água para compensar o volume desperdiçado. Isso compromete a disponibilidade hídrica e agrava a crise do setor (Petri, 2024).

Ambas as categorias representam desafios significativos e demandam estratégias eficazes de controle e mitigação. A modernização da infraestrutura, o investimento em tecnologias de monitoramento e a intensificação da fiscalização são algumas das medidas que podem ser adotadas para reduzir esses impactos.

## 2.4 IMPACTO GLOBAL DAS PERDAS

A perda de água tratada nos sistemas de abastecimento, sendo elas reais ou físicas, diminui a disponibilidade e conseqüentemente o consumo de água, atingindo a sustentabilidade dos recursos hídricos, a eficiência operacional e a viabilidade econômica das empresas de saneamento. Como apontam Blanc *et al.* (2023), esse fenômeno gera prejuízos financeiros significativos, aumenta o impacto ambiental e impõe desafios na gestão e distribuição da água tratada.

#### **2.4.1 Impactos Ambientais**

Cada litro de água desperdiçado representa não apenas um recurso que deixa de ser aproveitado, mas também um aumento na pressão sobre os mananciais. Vazamentos e falhas operacionais reduzem a disponibilidade hídrica para o consumo humano e para setores essenciais, como a agricultura e a indústria. Essa situação agrava ainda mais os desafios do abastecimento e da gestão sustentável da água (Blanc *et al.*, 2023).

O cenário é ainda mais crítico em regiões que já enfrentam limitações hídricas. A escassez de água se torna ainda mais severa quando parte do volume tratado se perde antes mesmo de chegar ao consumidor final. Como destaca Portela *et al.* (2023), essa realidade compromete não apenas a segurança hídrica, mas também o desenvolvimento econômico e social dessas localidades.

#### **2.4.2 Impactos Sociais**

A má gestão das perdas de água não afeta apenas as concessionárias – ela gera desigualdades no acesso à água potável e a serviços de saneamento adequados. Comunidades com infraestrutura precária sofrem com a irregularidade no abastecimento, enquanto regiões com melhor planejamento e investimentos apresentam menores índices de perda (Campos *et al.*, 2022).

Essa desigualdade regional evidencia um problema estrutural: municípios com recursos e tecnologia, associado a mais recursos e disponibilidade tecnológica, conseguem gerenciar melhor seus sistemas de abastecimento, enquanto outros enfrentam dificuldades significativas para conter as perdas. Isso reforça a necessidade de políticas públicas que garantam investimentos equilibrados e estratégias eficientes para todos os territórios (Portela *et al.*, 2023).

### 2.4.3 Impactos Operacionais

Cada vazamento ou falha no sistema exige manutenção constante, elevando os custos operacionais das empresas de saneamento. Como alerta Blanc *et al.* (2023), a necessidade frequente de reparos compromete a eficiência dos sistemas de abastecimento, gerando gastos adicionais e reduzindo a capacidade de investimento em melhorias estruturais.

Petri (2024) enfatiza que minimizar essas perdas não se trata apenas de evitar o desperdício, mas de garantir a saúde financeira das companhias de saneamento. Em um cenário de crescente escassez hídrica, a gestão eficiente das perdas se torna ainda mais crucial para assegurar um abastecimento confiável e sustentável.

### 2.4.4 Impactos Econômicos

As perdas de água também representam um prejuízo financeiro considerável. A água desperdiçada ao longo da rede de distribuição não pode ser faturada, resultando em menor arrecadação e comprometendo a viabilidade econômica do setor. Segundo Blanc *et al.* (2023), estima-se que cerca de 40% da água tratada no Brasil seja perdida devido a vazamentos e falhas operacionais, exigindo investimentos urgentes em infraestrutura e gestão para reverter esse cenário.

Além disso, como aponta Petri (2024), reduzir as perdas físicas tem um impacto positivo nos custos de produção. Quanto menor o desperdício, menor a necessidade de captação adicional, reduzindo o consumo de energia e produtos químicos utilizados no tratamento da água. Essa otimização evita a expansão desnecessária da infraestrutura de captação, contribuindo diretamente para a preservação ambiental.

## 2.5 A NECESSIDADE DE REDUZIR AS PERDAS

A gestão das perdas hídricas e a sustentabilidade andam de mãos dadas – e não poderia ser diferente. Como ressalta Petri (2024), reduzir essas perdas não são apenas uma questão operacional, mas sim uma necessidade urgente para a preservação dos recursos hídricos. Quanto mais eficiente for essa gestão, menor será a necessidade de expandir a captação e produção de água, resultando em impactos ambientais reduzidos.

De acordo com Claudino (2021), a administração eficiente da água é um dos pilares fundamentais para garantir tanto a sustentabilidade ambiental quanto a segurança hídrica. E o

motivo é simples: otimizar o uso da água significa não apenas reduzir desperdícios, mas também prolongar a disponibilidade desse recurso essencial para o abastecimento da população e o funcionamento de diversos setores.

### **2.5.1 Gestão Eficiente da Água**

A eficiência no uso da água depende de estratégias bem planejadas para reduzir as perdas, sejam elas reais ou aparentes. Como aponta Andrigo (2022), um controle eficaz dessas perdas é determinante para a manutenção e funcionamento dos sistemas de abastecimento. Isso afeta diretamente tanto as finanças das concessionárias quanto a confiabilidade dos serviços públicos – afinal, quanto mais água perdida, maiores os custos de operação e menores os recursos disponíveis para investimentos em melhorias.

### **2.5.2 Sustentabilidade Ambiental**

A redução das perdas de água também é essencial para um uso mais sustentável dos recursos hídricos. Não se trata apenas de números ou estatísticas: cada litro desperdiçado é um alerta para os impactos negativos que esse desperdício pode gerar. Andrigo (2022) destaca que a ineficiência no abastecimento compromete não só os sistemas de distribuição, mas também o meio ambiente, agravando problemas de saneamento e qualidade da água.

Além disso, Claudino (2021) reforça que a preservação dos recursos hídricos não pode ser pensada apenas no presente. O manejo adequado da água precisa garantir que as demandas atuais sejam atendidas sem comprometer as necessidades das futuras gerações. Para isso, é fundamental proteger os ecossistemas aquáticos e terrestres, manter o equilíbrio do ciclo hidrológico e incentivar práticas que promovam a biodiversidade.

### **2.5.3 Segurança Hídrica**

A gestão eficiente da água não é apenas uma questão de organização – é uma necessidade para assegurar a segurança hídrica da população. Perdas excessivas podem levar à escassez de água, elevar os custos operacionais e comprometer a disponibilidade do recurso a longo prazo. Andrigo (2022) destaca que a adoção de medidas para reduzir essas perdas é essencial para aprimorar os serviços de abastecimento e garantir um fornecimento confiável.

Mas a segurança hídrica enfrenta obstáculos: urbanização acelerada, mudanças climáticas e gestão ineficaz podem pressionar ainda mais as fontes de captação. Como alerta Claudino (2021), além do abastecimento para consumo humano, a água é indispensável para a agricultura, a indústria e até mesmo para atividades recreativas. Portanto, assegurar sua disponibilidade requer planejamento estratégico e investimentos constantes.

#### **2.5.4 Regulamentação e Normas Ambientais**

A qualidade da água que chega às residências, indústrias e lavouras não depende apenas de processos de captação e tratamento – ela está diretamente ligada ao cumprimento de regulamentações ambientais. Sem diretrizes claras e bem estruturadas, a degradação dos recursos hídricos seria ainda mais alarmante. Claudino (2021) aponta que normas estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desempenham um papel essencial na prevenção da poluição e na manutenção da qualidade da água.

A Resolução CONAMA nº. 357/2005 categoriza os corpos hídricos conforme seu uso e define padrões específicos de qualidade. Esse regulamento é essencial para garantir que o tratamento e a disposição de águas residuárias respeitem normas ambientais, reduzindo os impactos da poluição (Marques *et al.*, 2021). Além disso, as diretrizes da ABNT estabelecem parâmetros técnicos para o tratamento de água e o gerenciamento de resíduos, assegurando que os processos adotados estejam alinhados com padrões de segurança sanitária e sustentabilidade ambiental (Marques *et al.*, 2021).

Como destaca Ferreira (2022), legislações como essas garantem que os sistemas de abastecimento sigam critérios rigorosos, protegendo tanto a saúde pública quanto o meio ambiente. Afinal, garantir a qualidade da água que consumimos hoje é essencial para evitar crises hídricas no futuro.

### **2.6 CAUSAS E DESAFIOS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS**

#### **2.6.1 Causas das Perdas de Água nos Sistemas de Abastecimento**

As perdas de água nos sistemas de abastecimento são um problema recorrente que afeta a eficiência da distribuição e intensifica o desperdício de um recurso essencial. Essas perdas podem ser resultados de falhas estruturais, operacionais e gerenciais, comprometendo tanto o abastecimento quanto a sustentabilidade hídrica. Entre os principais fatores que

contribuem para esse problema, destacam-se os vazamentos em tubulações, a falta de manutenção preventiva e as falhas na medição do consumo.

#### 2.6.1.1 Vazamentos em Tubulações: Quando a Infraestrutura Envelhece

Se há algo que desafia a eficiência dos sistemas de abastecimento, são os vazamentos. Eles podem ocorrer em tubulações, conexões e acessórios, sendo uma das principais fontes de desperdício de água. O motivo para tal é que, na maioria das vezes, o problema está na idade da infraestrutura. Com o passar dos anos, as tubulações sofrem com a deterioração dos materiais, formando fissuras e rupturas que reduzem significativamente a eficiência da rede (Corrêa *et al.*, 2021; Claudino *et al.*, 2021).

Além disso, fatores como variações de pressão na rede, solos corrosivos e até intervenções mal executadas podem agravar ainda mais a situação. Quando não há monitoramento adequado, esses vazamentos podem passar despercebidos por longos períodos, gerando grandes volumes de desperdício e elevando os custos operacionais das concessionárias.

#### 2.6.1.2 Inadequações na Manutenção

A falta de manutenção preventiva é um dos principais agravantes das perdas hídricas. Sem inspeções regulares e ações corretivas oportunas, pequenos vazamentos podem evoluir para falhas estruturais mais sérias, exigindo reparos emergenciais que aumentam os custos operacionais e dificultam a gestão eficiente do sistema (Sousa *et al.*, 2020; Corrêa *et al.*, 2021).

Além disso, quando a manutenção é realizada apenas de forma corretiva – ou seja, após o problema já ter se manifestado –, as chances de desperdício aumentam consideravelmente. Investir em estratégias preventivas, como a renovação de redes antigas e a implementação de sensores de detecção de vazamentos, pode ser a chave para minimizar essas perdas e garantir um abastecimento mais confiável.

#### 2.6.1.3 Medição Ineficiente

Outro fator que contribui para as perdas de água, mas que muitas vezes passa despercebido, é a falha na medição do consumo. A ausência de equipamentos precisos ou

problemas nos registros de volume podem resultar em desperdícios não contabilizados. Isso significa que, mesmo que a água seja utilizada, ela não é faturada corretamente – gerando impactos financeiros para as concessionárias e dificultando a gestão hídrica eficiente (Silva *et al.*, 2023).

Hidrômetros desgastados, mal calibrados ou subdimensionados são grandes vilões nesse cenário. Quando não funcionam adequadamente, comprometem a tarifação do consumo e dificultam a identificação de perdas aparentes. Assim, a substituição periódica desses equipamentos e a adoção de tecnologias mais avançadas, como medidores ultrassônicos e sistemas de telemetria, são soluções que podem aprimorar a precisão das medições e reduzir desperdícios.

Os vazamentos, a falta de manutenção preventiva e a medição ineficiente são três das principais causas das perdas de água nos sistemas de abastecimento. Cada um desses fatores, isoladamente ou em conjunto, impacta diretamente a eficiência operacional e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Para enfrentar esse desafio, é essencial que as concessionárias invistam em infraestrutura moderna, tecnologias de monitoramento e políticas de manutenção preventiva, garantindo não apenas um abastecimento eficiente, mas também a preservação de um recurso tão valioso para as futuras gerações.

## 2.7 MEDIDAS PARA A REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento é um desafio urgente, algo que precisa ser encarado com seriedade para garantir a eficiência hídrica e a sustentabilidade dos nossos recursos naturais. O desperdício de água, além de prejudicar o meio ambiente, acarreta custos altos e compromete o futuro, entretanto existem soluções. Um conjunto de estratégias pode ser colocado em prática para minimizar esses desperdícios, melhorar os serviços oferecidos e ainda mitigar os impactos ambientais e financeiros. Dentre as soluções mais recomendadas, podemos destacar a automação das redes, o monitoramento constante, a manutenção preventiva, o fortalecimento da legislação e, também, o investimento em infraestrutura, sem esquecer da importância da conscientização da população.

Além disso, o controle das perdas nas redes de distribuição de água foi revisto. Sendo absolutamente crucial para a eficiência do sistema. A implementação da automação e a setorização das redes possibilitam um controle muito mais preciso sobre a pressão e o fluxo de água, o que resulta numa redução significativa de vazamentos e numa otimização do

consumo. É extremamente exequível na realidade atual, apesar de não existirem muitos exemplos (Fritz *et al.*, 2020).

É importante também o uso de sistemas avançados, como válvulas redutoras de pressão (VRPs) e sistemas automatizados de monitoramento. Com essas ferramentas, é possível detectar vazamentos rapidamente e corrigir qualquer anomalia logo que apareça, o que diminui as perdas físicas e melhora a eficiência do sistema na totalidade. Não é só uma questão de resolver problemas, mas de antecipar e evitar que eles aconteçam (Portela *et al.*, 2023).

**Manutenção Preventiva:** Prever um problema, interpretando seus indicativos antes de eles acontecerem. A mesma lógica se aplica às redes de distribuição de água. Manter um programa de manutenção preventiva é fundamental para identificar falhas antes que se tornem emergências. Inspeções regulares em tubulações, válvulas e equipamentos aumentam a durabilidade da infraestrutura e, ao mesmo tempo, evitam custos com reparos inesperados e desperdício de água (Sousa *et al.*, 2020; Portela *et al.*, 2023).

**Investimento em Infraestrutura:** A modernização das redes é um dos caminhos mais eficazes para combater as perdas e aumentar a eficiência do sistema. Trocar tubulações antigas, adotar materiais mais resistentes e aprimorar as tecnologias de distribuição são ações essenciais. Ao fazer isso, consegue-se garantir um abastecimento de água mais confiável e sustentável para todos (Portela *et al.*, 2023).

Em resumo, implementar medidas que visem reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento não é só uma questão de economia, mas uma questão de longevidade do recurso para o planeta. A tecnologia, a manutenção preventiva, o cumprimento das leis e os investimentos em infraestrutura são passos cruciais. Além disso, a conscientização pública é fundamental para garantir que todos sejamos agentes ativos na preservação dos recursos hídricos, promovendo um abastecimento mais sustentável e eficiente a longo prazo.

## 2.8 BENEFÍCIOS DA REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO

A redução das perdas hídricas nos sistemas de abastecimento de água é uma estratégia vital, quase como uma necessidade urgente, para garantir a eficiência operacional e a sustentabilidade dos nossos preciosos recursos hídricos. Quando se pensa em como isso impacta a qualidade dos serviços prestados à população, fica claro que não se trata apenas de evitar desperdício, mas também de preservar o meio ambiente, economizar recursos financeiros e energéticos e promover a equidade no acesso à água potável. É, sem dúvida,

uma atitude que impacta positivamente o funcionamento de todo o sistema e ajuda a atender às exigências legais, minimizando ainda os impactos negativos sobre a sociedade.

**Sustentabilidade Ambiental:** Reduzir o desperdício de água é essencial para preservar os recursos hídricos que restam no Planeta. Afinal, garantir que a água continue disponível para as futuras gerações é uma responsabilidade que não pode ser ignorada. A gestão eficiente das perdas ajuda diretamente na conservação das fontes de água, diminuindo a pressão sobre a exploração de novas fontes e, conseqüentemente, os impactos ambientais negativos da extração e do tratamento da água (Portela *et al.*, 2023; Blanc *et al.*, 2023; Campos *et al.*, 2022). Dessa forma, fica evidenciada a urgência de mitigar ao máximo atitudes supérfluas no que se refere ao consumo irresponsável de água.

**Economia de Recursos:** Quando é possível reduzir as perdas de água nos sistemas, a economia operacional é notável. Menos água a ser captada, tratada e transportada significa menos custos com produtos químicos, menos energia consumida no bombeamento e na distribuição. É um ciclo virtuoso que, além de melhorar a sustentabilidade econômica do setor, também fortalece a viabilidade financeira das concessionárias de saneamento (Portela *et al.*, 2023; Campos *et al.*, 2022).

**Melhoria na Qualidade do Serviço:** Reduzindo os vazamentos e falhas operacionais, o sistema de abastecimento se torna muito mais confiável. Isso se traduz em um fornecimento regular de água, com menos interrupções e um serviço de melhor qualidade para a população. Além disso, ao aliviar a pressão sobre as infraestruturas, a vida útil desses sistemas é prolongada, evitando gastos com reparos emergenciais e substituições caras (Portela *et al.*, 2023; Blanc *et al.*, 2023).

**Conformidade Legal:** Cumprir as regulamentações ambientais e sanitárias, como a Resolução CONAMA nº. 357/2005, é extremamente necessário, visto que, as normas de qualidade e as diretrizes para proteger os recursos hídricos asseguram que o abastecimento de água esteja alinhado às exigências de saúde pública e de preservação ambiental. E quando se consegue reduzir as perdas, mostra o efetivo cumprimento das resoluções, evitando sanções e garantindo um serviço mais eficiente e sustentável (Portela *et al.*, 2023; Campos *et al.*, 2022).

**Impacto Social Positivo:** A redução das perdas de água também tem um impacto direto no acesso à água potável, ajudando a diminuir as desigualdades regionais. Com sistemas mais eficientes, é possível garantir que maiores camadas da população, especialmente as que vivem em áreas mais vulneráveis, tenham acesso a um fornecimento estável e seguro de água. E isso é um passo importante para promover a conscientização sobre o uso responsável da água,

incentivando práticas mais sustentáveis em toda a sociedade (Portela *et al.*, 2023). A gestão eficaz da água se torna, assim, um agente transformador social.

Em resumo, as estratégias para reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento trazem benefícios em diversas frentes – ambientais, econômicas e sociais. Garantir a preservação dos recursos hídricos, reduzir custos operacionais, melhorar a qualidade do serviço, cumprir a legislação e promover a equidade no acesso à água são só algumas das vantagens que tornam esses investimentos tão necessários. A adoção de práticas eficientes de gestão hídrica é, portanto, fundamental para assegurar a sustentabilidade ambiental e a segurança hídrica para as próximas gerações.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho configura-se como uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e descritivo, com o objetivo de identificar e analisar as principais medidas para a redução das perdas de água, tanto reais (físicas) quanto aparentes (não físicas), em sistemas de abastecimento de água. A revisão também buscou identificar análises comparativas de custos associados a essas medidas e as estratégias de implantação reportadas na literatura.

A pesquisa foi desenvolvida através de três grandes etapas, sendo uma delas a definição do tema e questão de pesquisa, visto que, o tema central desta revisão é a identificação de medidas para a redução de perdas de água reais e aparentes, juntamente com análises de custos e estratégias de implantação, em sistemas de abastecimento de água. A questão de pesquisa norteadora é: quais são as principais abordagens e tecnologias propostas na literatura para mitigar as perdas de água reais e aparentes em sistemas de abastecimento, incluindo medidas de redução específicas, análises comparativas de custos para sua implementação, e as estratégias de implantação mais eficazes.

A busca por literatura relevante foi realizada em diversas fontes, com ênfase em artigos científicos, teses e dissertações, além de livros e revistas científicas especializadas. As principais fontes a serem consultadas incluem bases de dados bibliográficos, repositórios institucionais com programas de pós-graduação em áreas afins, buscando por teses e dissertações. Além disso, periódicos científicos em publicações como *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, *Water Science & Technology*, Engenharia Sanitária e Ambiental, Revista DAE, e outras revistas científicas que abordam a gestão de sistemas de abastecimento de água e perdas. Livros técnicos e manuais também foram utilizados em obras de referência sobre sistemas de abastecimento de água e gestão de perdas.

Relatórios de entidades reguladoras e associações do setor também foram utilizados, como documentos produzidos pela ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos), SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), IWA (*International Water Association*), ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), e relatórios de empresas de saneamento como a Águas de Gaia, SABESP, CESAN e COPASA. Além da dissertação de mestrado de Joaquin Alexander da Silva Uzcategui, desenvolvida na Águas de Gaia, constitui uma fonte primária relevante para a identificação de medidas de redução de perdas aparentes, em particular a submedição dos contadores e os consumos ilícitos, apresentando análises de custos e informações sobre a sua implantação. Estudos que abordem a redução de perdas reais através da pesquisa e combate a vazamentos, bem como

análises de custos e implementação, também foram considerados. Foram pesquisados materiais que apresentem análises comparativas de custos entre diferentes medidas de redução e discutam os desafios e o planejamento da implantação de programas de redução de perdas.

Foram selecionados estudos que abordem diretamente medidas para a redução de perdas de água em sistemas de abastecimento, tanto reais quanto aparentes, apresentem análises de custos comparativas entre diferentes medidas, discutam estratégias e desafios na implantação dessas medidas, apresentem resultados de implementação, estudos de caso, análises de diferentes tipos de perdas, e discutam tecnologias e estratégias de gestão. Foram excluídos materiais que não se foquem na redução de perdas, não apresentem análises de custos ou estratégias de implantação, abordem outros aspectos dos sistemas de abastecimento sem relação com perdas, prezando pelo rigor científico.

Os dados extraídos foram sintetizados e organizados de forma temática, apresentando as diferentes medidas para a redução de perdas reais e aparentes, as tecnologias associadas, as análises de custos comparativas identificadas na literatura, as estratégias de implantação reportadas (incluindo desafios e fatores de sucesso), e os resultados reportados na literatura (quando disponíveis). A discussão dos resultados analisou criticamente as diferentes medidas e abordagens, identificando similaridades, diferenças e possíveis lacunas na pesquisa existente, no que concerne à eficácia das medidas, às suas implicações de custo e às melhores práticas de implementação.

#### 4. PRINCIPAIS MEDIDAS ADOTADAS NA REDUÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

##### 4.1 MONITORAMENTO E DETECÇÃO DE VAZAMENTO.

O monitoramento e a detecção de vazamentos em sistemas de abastecimento de água são essenciais para identificar e controlar perdas físicas e aparentes, garantindo maior eficiência operacional e redução de desperdícios. Existem diversas técnicas para detectar vazamentos, cada uma com aplicações específicas. Os sensores acústicos (*data loggers*) permitem o monitoramento contínuo e remoto ao identificar ruídos característicos de vazamentos na tubulação. O geofonamento é um método manual que utiliza um sensor portátil para localizar vazamentos com precisão por meio da ausculta direta dos sons emitidos pela rede. Já o gás traçador é uma abordagem não acústica que consiste na injeção de gás na tubulação, detectando sua saída em caso de vazamento, sendo útil em áreas com alto ruído ambiente. Por fim, as imagens térmicas (infravermelho) capturam variações de temperatura no solo que podem indicar a presença de vazamentos subterrâneos. A combinação dessas técnicas proporciona um diagnóstico mais completo e eficaz, adaptando-se às características da rede e ao tipo de vazamento a ser identificado. O quadro 1 traz as técnicas com suas descrições, vantagens e desvantagens.

Quadro 1 – Técnicas de detecção de vazamentos, vantagens e desvantagens

<b>Técnica</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Sensores Acústicos ( <i>Data Loggers</i> )	Utilizam dispositivos eletrônicos instalados em pontos estratégicos para captar ruídos na tubulação, especialmente durante a noite. Os dados são analisados por softwares especializados, que identificam padrões de som associados a vazamentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento contínuo e remoto de grandes áreas.</li> <li>● Detecção precoce de vazamentos não visíveis.</li> <li>● Identificação aproximada da localização do vazamento em sistemas avançados.</li> <li>● Integração com sistemas de telegestão e alarmes para respostas rápidas.</li> <li>● Reduz perdas reais de água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Custo inicial elevado.</li> <li>● Sensibilidade a ruídos ambientais.</li> <li>● Necessidade de softwares especializados e pessoal treinado.</li> <li>● Localização precisa pode exigir técnicas adicionais.</li> </ul>
Geofonamento	Técnica manual em que um operador usa um geofone para auscultar as tubulações,	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Localização exata do ponto de vazamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Depende da habilidade do operador.</li> </ul>

	identificando ruídos característicos de vazamentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Portátil e de fácil implementação.</li> <li>• Complementa outras técnicas, como sensores acústicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limita-se a pequenas áreas por vez.</li> <li>• Interferências de ruídos externos e profundidade da tubulação.</li> </ul>
Gás Traçador	Injeta-se gás inerte na tubulação; em caso de vazamento, o gás escapa para a superfície, sendo detectado por sensores específicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficaz em áreas de alto ruído ambiental e solos de alta retenção.</li> <li>• Localiza vazamentos mesmo quando a água não emerge.</li> <li>• Método não acústico para situações em que o som não é eficaz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita da injeção de gás na tubulação.</li> <li>• O gás pode demorar a chegar à superfície.</li> <li>• Equipamentos e gás são caros.</li> </ul>
Imagens Térmicas (Fotografia de Infravermelhos)	Usa câmeras termográficas para identificar alterações de temperatura no solo que indicam a presença de vazamentos subterrâneos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspecciona rapidamente grandes áreas.</li> <li>• Técnica não invasiva, sem contato direto com a tubulação.</li> <li>• Identifica anomalias térmicas que sugerem vazamentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influenciada por fatores ambientais (clima, pavimento, hora do dia).</li> <li>• Pode gerar falsos positivos por outras fontes de calor ou frio.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Uzcategui, 2017

#### 4.1.1 Análise Comparativa entre Técnicas

A combinação estratégica dessas técnicas é frequentemente a abordagem mais eficaz para um programa de redução de perdas abrangente. A implementação de um plano de ação integrado para combater perdas reais e aparentes é fundamental para otimizar os resultados. Além disso, investir em formação e capacitação das equipes é crucial para a aplicação correta e eficiente dessas tecnologias. A priorização do controle de perdas pela alta administração e o estabelecimento de métricas de desempenho também são fatores essenciais para o sucesso.

A eficácia dos métodos de detecção de vazamentos varia significativamente e está intrinsecamente ligada aos investimentos necessários para sua implementação e operação. Os sensores acústicos (*data loggers*) oferecem a vantagem de monitoramento contínuo e em larga escala, permitindo a detecção precoce de vazamentos não visíveis, o que pode levar a economias significativas a longo prazo pela redução das perdas reais. No entanto, o investimento inicial em aquisição e instalação do sistema pode ser considerável, assim como os custos com software de análise e treinamento de pessoal. Apesar do custo, a capacidade de

identificar problemas proativamente em extensas redes pode justificar o investimento em termos de prevenção de perdas maiores e otimização da gestão da rede.

Em contraste, o geofonamento se destaca pela sua eficácia na localização precisa de vazamentos, sendo uma ferramenta essencial para confirmar e pontuar as detecções iniciais. O investimento em geofones é geralmente menor do que em sistemas completos de sensores acústicos, mas a eficácia depende fortemente da habilidade do operador, tornando o investimento em treinamento crucial. Embora seja um método mais direto, sua natureza manual limita a área que pode ser inspecionada em um determinado período, o que pode torná-lo menos eficiente para varreduras extensivas sem informações prévias.

O método do gás traçador demonstra alta eficácia na detecção de vazamentos em condições onde métodos acústicos são limitados, como em áreas ruidosas ou solos que dificultam a propagação do som. Contudo, requer um investimento nos equipamentos de injeção e detecção de gás, além do custo do próprio gás, que pode ser significativo em inspeções extensas. A necessidade de tempo para o gás se infiltrar e a expertise para interpretar os resultados também são fatores a serem considerados no investimento em treinamento e tempo de operação.

As imagens térmicas (fotografia de infravermelhos) proporcionam uma abordagem rápida e não invasiva para a inspeção de grandes áreas, podendo identificar anomalias que indicam vazamentos. O investimento em câmeras termográficas pode ser alto, e a eficácia do método é fortemente influenciada pelas condições ambientais, exigindo planejamento cuidadoso das inspeções. Além disso, a interpretação das imagens requer experiência para distinguir vazamentos de outras fontes de variação térmica, o que implica em investimento em treinamento especializado.

O quadro 2 traz um resumo da análise das técnicas descritas anteriormente em termos de custo, eficiência, área de cobertura e melhor aplicação.

Quadro 2 – Comparação entre as técnicas

<b>Técnica</b>	<b>Custo</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Área de Cobertura</b>	<b>Melhor Aplicação</b>
Sensores Acústicos	Alto	Alta	Grande	Monitoramento contínuo
Geofonamento	Médio	Alta	Pequena	Localização pontual
Gás Traçador	Alto	Média	Média	Áreas com alto ruído
Imagens Térmicas	Médio	Média	Grande	Detecção preliminar

Fonte: Adaptado de Uzcategui, 2017

Em suma, a escolha do método mais eficaz em relação ao investimento depende das características específicas do sistema de abastecimento, dos recursos disponíveis e dos objetivos do programa de redução de perdas. Frequentemente, uma combinação estratégica de diferentes métodos, juntamente com um plano de ação integrado e investimento em capacitação, oferece a abordagem mais custo-efetiva para reduzir as perdas de água. A priorização da alta administração e o uso de ferramentas de gestão e monitoramento são igualmente importantes para garantir o retorno sobre o investimento nas técnicas de detecção.

## 4.2 CONTROLE DE PRESSÃO NA REDE

O controle da pressão na rede de abastecimento de água é uma estratégia fundamental para a redução de perdas de água, tanto reais quanto aparentes. Pressões elevadas aumentam a taxa de fugas e rupturas nos condutos e ligações, além de influenciarem o consumo.

A seguir, detalhamos as técnicas de instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP) e setorização da rede para o controle de pressão.

### 4.2.1 Instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP)

A instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP) é uma técnica eficaz para diminuir e estabilizar a pressão em zonas específicas da rede de distribuição. Estas válvulas são projetadas para reduzir a pressão da água de um nível mais alto para um nível mais baixo a jusante da válvula.

As VRPs podem ser instaladas em pontos estratégicos da rede, como na entrada de zonas com cotas altimétricas mais baixas, em áreas onde a pressão naturalmente seria excessiva devido ao sistema de bombeamento ou à topografia.

A pressão a jusante da VRP é regulada para um valor predefinido, otimizando o serviço aos consumidores e minimizando a pressão nas tubulações. A implementação de um sistema de redução de pressão pode envolver a instalação de várias VRPs, delimitando subsetores de abastecimento com níveis de pressão controlados. É importante que o sistema de VRPs seja acompanhado de macromedição a montante da válvula para monitorar as vazões de entrada e auxiliar na avaliação da eficácia do controle de pressão na redução de perdas.

Em algumas situações, como em áreas com histórico de baixa pressão, o ajuste ou mesmo o aumento da altura de reservatórios pode ser considerado como uma alternativa de

menor custo em comparação com a substituição de tubulações, embora deva ser acompanhado de um controle de vazamentos intensificado devido ao potencial aumento da pressão.

A definição dos pontos de instalação e a regulagem das VRPs devem ser baseadas em estudos hidráulicos da rede para garantir o abastecimento adequado a todos os consumidores. A manutenção regular das VRPs é essencial para garantir seu correto funcionamento e a sustentabilidade dos resultados obtidos. A ausência de macromedição nas entradas e saídas de reservatórios que delimitam os setores de abastecimento pode dificultar um controle mais detalhado das perdas por setor.

Os benefícios na redução de perdas são:

**Diminuição das perdas reais:** Ao reduzir a pressão, diminui-se a vazão das fugas existentes e a probabilidade de ocorrência de novas rupturas em condutos. Pressões mais baixas exercem menor estresse sobre a infraestrutura, prolongando sua vida útil e reduzindo a frequência de falhas.

**Redução do consumo:** A pressão excessiva pode levar a um consumo desnecessário por parte dos clientes. O controle da pressão otimiza o uso da água.

**Diminuição da probabilidade de regimes transitórios:** A estabilização da pressão, proporcionada pelas VRPs, pode reduzir a ocorrência de golpes de aríete, que podem danificar a rede e causar rupturas.

**Melhoria da gestão da rede:** A delimitação de subsetores com pressão controlada facilita a identificação de áreas com maiores perdas, direcionando as ações de detecção e reparo de fugas.

Vantagens da instalação de válvulas redutoras de pressão são:

- Diminuição significativa das perdas reais através da redução da vazão das fugas existentes e da probabilidade de novas rupturas nos condutos. Pressões mais baixas exercem menor estresse sobre a infraestrutura, prolongando sua vida útil.
- Redução do consumo de água. A pressão excessiva pode levar a um uso desnecessário da água pelos consumidores.
- Diminuição da probabilidade de ocorrência de regimes transitórios (golpes de aríete), que podem danificar a rede e causar rupturas. A estabilização da pressão proporcionada pelas VRPs contribui para isso.
- Melhoria da gestão da rede ao delimitar subsetores com pressão controlada, o que facilita a identificação de áreas com maiores perdas e direciona as ações de detecção e reparo de fugas.

Desvantagens da instalação de válvulas redutoras de pressão são:

- A definição dos pontos de instalação e a regulação das VRPs exigem estudos hidráulicos detalhados da rede para garantir o abastecimento adequado a todos os consumidores.
- A manutenção regular das VRPs é essencial para garantir seu correto funcionamento e a sustentabilidade dos resultados obtidos.
- A ausência de macromedição a montante das VRPs pode dificultar uma avaliação precisa da sua eficácia na redução de perdas em zonas específicas.

Em algumas situações, pode ser necessário um investimento inicial na aquisição e instalação das válvulas.

#### **4.2.2 Setorização da Rede**

A setorização da rede de distribuição consiste na divisão do sistema de abastecimento em áreas menores e estanques, denominadas setores de abastecimento, zonas de pressão ou Distritos de Medição e Controle (DMC). Esta divisão permite um gerenciamento mais eficiente do sistema, incluindo o controle de pressão e a monitorização de perdas.

A setorização requer um conhecimento detalhado da rede, incluindo a localização e o estado das válvulas e condutos. Garantir a estanqueidade dos setores é crucial para a eficácia da técnica, exigindo inspeções e reparos nas válvulas e interligações. A implantação da setorização pode demandar investimentos em macromedidores, válvulas e obras de interligação. A definição dos limites dos setores deve considerar fatores como a topografia, as zonas de pressão existentes e as características do consumo.

A setorização pode ser baseada em divisões físicas (rios, avenidas, etc.) ou através do fechamento de válvulas de seccionamento existentes, ou da instalação de novos registros. Cada setor deve ser isolável hidráulicamente dos demais, permitindo a medição precisa da água que entra no setor através de macromedidores. A implementação da setorização geralmente segue um processo gradual, podendo envolver a aplicação do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) para garantir a estanqueidade e o monitoramento eficaz de cada área. Dentro de cada setor, podem ser implementadas zonas de pressão específicas através da instalação de VRPs, otimizando ainda mais o controle da pressão. A setorização, aliada a um cadastro confiável da rede e dos consumidores, constitui a base para uma gestão eficaz das perdas.

Os benefícios na redução de perdas e controle de pressão são:

Melhor identificação e localização de fugas: ao isolar áreas menores, torna-se mais fácil identificar em qual setor ocorrem aumentos anormais de consumo ou quedas de pressão, direcionando as equipes de detecção de fugas.

Facilidade na implementação do controle de pressão: a setorização permite a aplicação de diferentes níveis de pressão em diferentes áreas da rede, de acordo com as necessidades e características de cada setor, através da instalação de VRPs nas entradas dos setores ou dentro deles.

Monitoramento mais preciso das perdas: com a macromedição na entrada de cada setor e a micromedição nos consumidores, é possível calcular o balanço hídrico setorial e quantificar as perdas de forma mais precisa.

Melhoria da gestão operacional: a setorização facilita manobras na rede em caso de manutenções ou emergências, afetando uma área menor do sistema.

Avaliação de desempenho por setor: a definição de setores permite o acompanhamento de indicadores de desempenho específicos para cada área, facilitando a identificação de problemas e a avaliação da eficácia das ações de controle de perdas.

Vantagens da setorização da rede:

- Melhor identificação e localização de fugas. Ao isolar áreas menores, torna-se mais fácil identificar em qual setor ocorrem anomalias no consumo ou pressão, direcionando as equipes de detecção.
- Facilidade na implementação do controle de pressão. A setorização permite aplicar diferentes níveis de pressão em diferentes áreas através da instalação de VRPs nas entradas dos setores ou dentro deles.
- Monitoramento mais preciso das perdas de água. Com a instalação de macromedidores na entrada de cada setor, é possível calcular o balanço hídrico setorial e quantificar as perdas de forma mais precisa.
- Melhoria da gestão operacional da rede ao facilitar manobras em caso de manutenções ou emergências, afetando uma área menor do sistema.
- Possibilidade de avaliação do desempenho por setor, através do acompanhamento de indicadores específicos, facilitando a identificação de problemas e a avaliação da eficácia das ações de controle de perdas.

Desvantagens da setorização da rede:

- A setorização requer um conhecimento detalhado da rede existente, incluindo a localização e o estado das válvulas e condutos.
- Garantir a estanqueidade dos setores é crucial para a eficácia da técnica, exigindo inspeções e reparos nas válvulas de seccionamento e interligações.
- A implantação da setorização pode demandar investimentos em macromedidores, válvulas, obras de interligação e atualização do cadastro da rede.

A definição dos limites dos setores deve considerar diversos fatores, como a topografia, as zonas de pressão existentes, as características do consumo e a necessidade de garantir o abastecimento adequado.

Em suma, ambas as técnicas oferecem vantagens significativas para o controle de pressão e a redução de perdas. A escolha e a implementação devem ser baseadas em um estudo detalhado do sistema existente e nos objetivos específicos da entidade gestora, considerando os investimentos necessários e os benefícios esperados. Frequentemente, a combinação estratégica da setorização com a instalação de VRPs em postos-chave da rede proporciona os melhores resultados no controle da pressão e na redução das perdas de água.

#### **4.2.3 Eficiência e Custo de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) e Setorização da Rede.**

Em geral, o controle de pressão e a setorização são ferramentas importantes para a gestão eficiente da água, oferecendo benefícios substanciais na redução de perdas e na melhoria da operação, apesar dos custos associados à sua implementação e manutenção. A combinação estratégica de ambas as técnicas tende a gerar os melhores resultados.

Eficiência:

- Ambas as técnicas são essenciais para aumentar a eficiência, principalmente na redução de perdas reais e na melhoria da gestão operacional.
- A setorização cria Distritos de Medição e Controle (DMCs), permitindo um monitoramento mais preciso.
- O controle de pressão contribui para a estabilização da rede.
- A setorização aprimora a detecção de vazamentos.

Custos:

- A implementação envolve custos significativos de investimento inicial, estudos, manutenção e capacitação.
- A setorização geralmente demanda um investimento maior do que a instalação isolado de VRPs.
- Uma análise custo-benefício detalhada é crucial antes da implementação.

#### 4.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva é uma estratégia fundamental para garantir a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água (SAA). Ao invés de reagir a falhas e emergências, a manutenção preventiva foca em ações proativas para evitar que esses problemas ocorram, garantindo um fornecimento contínuo e de qualidade.

Há duas estratégias principais dentro da manutenção preventiva: as inspeções regulares e a substituição de tubulações antigas.

**Inspeções Regulares:** Realizar inspeções periódicas na rede de distribuição, reservatórios, estações de bombeamento e outros componentes do sistema é crucial para identificar potenciais problemas antes que eles se tornem críticos. Estas inspeções podem incluir a verificação de vazamentos visíveis e não visíveis mediante técnicas acústicas e não acústicas, a análise do estado de válvulas, ventosas e hidrantes, a inspeção de equipamentos eletromecânicos para garantir seu funcionamento eficiente, e a monitorização da qualidade da água em diferentes pontos da rede. A monitorização contínua do SAA, como através de sistemas de telemetria, também auxilia na identificação precoce de anomalias.

**Renovação de Tubulações Antigas:** A idade e o tipo de material das tubulações são fatores importantes que influenciam a ocorrência de vazamentos. Um programa de renovação gradual de tubulações antigas ou em mau estado é uma estratégia chave de manutenção preventiva. A substituição por materiais mais modernos e duráveis, como o polietileno com juntas por fusão, pode reduzir significativamente as perdas reais e os custos de manutenção corretiva. O mapeamento detalhado das tubulações, incluindo sua idade e material, é essencial para um gerenciamento eficaz da infraestrutura e para o planejamento das renovações.

A adoção de um programa de manutenção preventiva traz diversas vantagens para as entidades gestoras, como:

- **Redução de Custos com Manutenções Emergenciais:** Ao identificar e corrigir problemas em estágio inicial, a manutenção preventiva evita custos elevados associados a reparos emergenciais, como mão de obra em horários extraordinários,

danos maiores à infraestrutura e interrupções não planejadas no abastecimento. A redução das perdas de água resultantes da manutenção preventiva também contribui para a diminuição dos custos operacionais, como os de captação e tratamento.

- **Maior Controle Operacional:** A manutenção preventiva permite um melhor planejamento das atividades de exploração e manutenção, otimizando a alocação de recursos humanos e materiais. Com um cronograma de inspeções e intervenções preventivas, a entidade gestora tem maior previsibilidade sobre o funcionamento do sistema, reduzindo a ocorrência de eventos inesperados e melhorando a gestão da pressão na rede. Isso também se reflete em uma maior qualidade do serviço prestado à população, com menor número de avarias e interrupções no abastecimento.

Apesar de suas inúmeras vantagens, a implementação da manutenção preventiva também apresenta alguns desafios, suas desvantagens são:

- **Necessidade de Equipe Técnica Especializada:** A execução eficaz de inspeções detalhadas, a análise de dados de monitoramento e o planejamento das intervenções preventivas exigem uma equipe técnica qualificada e com conhecimento específico em diferentes áreas, como hidráulica, instrumentação e eletromecânica. A formação e capacitação contínua da equipe são essenciais.
- **Planejamento Detalhado:** A implementação de um programa de manutenção preventiva requer um planejamento cuidadoso e detalhado, que envolve o levantamento e análise de informações sobre a infraestrutura existente, a definição de prioridades de intervenção, a elaboração de cronogramas, a alocação de recursos orçamentários e o acompanhamento dos resultados. A falta de uma estratégia bem definida pode comprometer a eficácia do programa.

#### **4.3.1 Estudo de Caso: Programa de Manutenção Preventiva e sua Eficácia**

Este excerto descreve o caso do SAAE de Itapira - SP, que iniciou ações de controle e redução de perdas em 2006 e formou uma "Equipe de Perdas" em 2013 focada na pesquisa de vazamentos não visíveis. Embora o foco principal seja a detecção e reparo de vazamentos (uma ação que pode ser tanto corretiva quanto preventiva, dependendo da sua sistematização), a criação de uma equipe dedicada e o uso de equipamentos específicos demonstram um passo em direção a um controle mais proativo. Os resultados da "Equipe de perdas", vieram inicialmente com a detecção feita pela equipe, que detectou aproximadamente 80 vazamentos

em cerca de 35 km de redes de abastecimento. A maioria desses vazamentos estava localizada nos ramais de ligação de água. As causas mais prováveis dos vazamentos foram identificadas como a utilização de tubulação ou conexão de má qualidade e lastro inadequado devido à falta de compactação do solo. Antes das ações de controle e redução de perdas, o município de Itapira possuía um índice de perdas acima de 40%. Após o primeiro ano das ações (iniciadas em 2006 com um Plano de Controle de Perdas e a implementação de válvulas redutoras de pressão em 2007), houve uma queda significativa nesse índice. Atualmente (dados de 2014 mencionados no excerto), o índice de perdas do município está na ordem de 36,27%. O volume total de água recuperada mensalmente nos três subsetores, após a pesquisa e reparo dos vazamentos, foi de aproximadamente 12.765,60 m<sup>3</sup>.

O programa de redução de perdas da Agência de Gestão de Água e Esgoto em São Paulo também ilustra a eficácia de uma abordagem estruturada, que inclui um diagnóstico detalhado e um plano de intervenção com atividades como a reabilitação da rede. A redução do volume de água não faturada e a economia financeira alcançadas pelas entidades gestoras participantes demonstram os benefícios de um programa bem implementado, que certamente inclui elementos de manutenção preventiva.

Embora os custos iniciais de um programa de manutenção preventiva, como a necessidade de equipe especializada e o planejamento detalhado, possam parecer significativos, a comparação com os custos da manutenção corretiva geralmente demonstra a superioridade econômica da abordagem preventiva.

**Custos da Manutenção Corretiva:** A manutenção corretiva, realizada após a ocorrência de uma falha, frequentemente envolve custos mais elevados devido à urgência da intervenção, à necessidade de reparos complexos, aos danos adicionais que a falha pode causar (como a contaminação da água), às interrupções não planejadas no serviço e ao potencial impacto negativo na imagem da entidade gestora.

**Custos da Manutenção Preventiva:** A manutenção preventiva, por outro lado, permite planejar as intervenções de forma mais eficiente, otimizar o uso de recursos, prolongar a vida útil dos ativos, reduzir a probabilidade de falhas maiores e, conseqüentemente, diminuir os custos totais de manutenção a longo prazo. A redução das perdas de água também contribui para uma maior eficiência econômica do sistema.

De forma geral, a manutenção preventiva é uma estratégia essencial para garantir a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água. Apesar da necessidade de planejamento e de equipe especializada, as vantagens em termos de redução de custos, maior controle operacional e melhoria da qualidade do serviço superam as

desvantagens, tornando-a um investimento estratégico para as entidades gestoras. A combinação de inspeções regulares e programas de renovação de infraestrutura constitui a base de uma gestão proativa e eficiente dos recursos hídricos.

#### 4.4 MÉTODOS DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES DE ÁGUA

##### 4.4.1 Melhoria da Medição

A melhoria da medição é uma estratégia crucial para a redução das perdas aparentes de água nos sistemas de abastecimento. Estas perdas, constituídas por erros de medição e consumo não autorizado, podem ser significativamente minimizadas através da implementação de tecnologias e práticas de medição mais precisas e eficientes.

As principais estratégias para a melhoria da medição incluem:

**Substituição de hidrômetros antigos:** Com o tempo, os contadores de água tendem a perder precisão devido ao desgaste natural, esforço de funcionamento ou obstrução por sólidos presentes na água. Esta submedição dos contadores resulta em perdas de faturamento. A substituição de contadores antigos é uma das maneiras mais eficazes de diminuir esta submedição. A empresa Águas de Gaia, por exemplo, verificou uma redução nas perdas aparentes por erros de medição devido ao início de campanhas de substituição de contadores mais antigos, a exemplo, no ano de 2015, verificou-se uma redução das perdas aparentes por erros de medição em 114.863 m<sup>3</sup>. No ano de 2016, a redução das perdas aparentes por erros de medição foi de 33.122 m<sup>3</sup>. Estes números demonstram o impacto das campanhas de substituição de contadores mais antigos na diminuição das perdas aparentes da empresa, decorrentes de erros de medição.

Para diminuir as perdas de água resultantes de erros de medição, é necessário implementar um programa de calibração, reparação e renovação do parque de contadores.

**Uso de medidores ultrassônicos:** Os contadores velocimétricos não mecânicos do tipo ultrassônico baseiam o seu mecanismo de medição na detecção da velocidade das ondas acústicas emitidas pelo movimento do fluido. Este tipo de contador é apresentado como uma solução discreta e versátil para medições em diferentes tubos. A instalação de equipamentos mais precisos, nomeadamente contadores de telemetria, é apontada como uma medida para melhorar a precisão da medição.

**Implementação da telemetria:** A telemetria é um sistema que permite conhecer, em tempo real, o escoamento, o nível das vazões de entrada e saída nas zonas de abastecimento e

as pressões em diversos pontos. A implementação da telemetria, incluindo a telemetria domiciliária, é uma maneira muito eficaz de reduzir os erros de medição, os erros humanos e o consumo não autorizado. Permite realizar leituras mensais remotamente, evitando estimativas e a necessidade de comunicação de leituras pelos clientes. A telemetria também emite alerta na ocorrência de anomalia como o desmonte, travamento ou remoção do contador.

As vantagens da melhoria da medição são:

- Maior precisão na medição: A substituição de contadores antigos por modelos mais novos e precisos, como os ultrassônicos ou os com telemetria, leva a uma medição mais exata do volume de água consumido. Isto reduz a submedição e garante que um maior volume de água seja registrado para faturamento.
- Redução de perdas comerciais: Ao diminuir os erros de medição e facilitar a detecção de consumos não autorizados (como furtos de água) através da telemetria e de um melhor controle, as perdas aparentes são reduzidas, o que se traduz numa diminuição das perdas comerciais para a entidade gestora. As perdas aparentes têm um impacto financeiro significativo, pois lhes é atribuído o valor do custo correspondente ao preço de venda da água.

A desvantagem da melhoria da medição é o custo elevado da substituição em larga escala. A substituição de um grande número de hidrômetros, especialmente por modelos mais avançados, como os ultrassônicos ou os com capacidade de telemetria, pode representar um investimento inicial considerável.

#### **4.4.2 Estudo de Caso: Implementação de Hidrômetros Inteligentes e seu Impacto na Arrecadação**

Um estudo econômico realizado pela concessionária de serviços de saneamento Águas de Gaia considerou a viabilidade da substituição de 15000 contadores domésticos. A implementação da telemetria domiciliária, que pode ser considerada uma forma de hidrômetro inteligente, permite o acesso à leitura de contadores instalados em locais de difícil acesso e a detecção de consumos suspeitos que possam indicar furto de água. Embora o excerto não apresente um estudo de caso específico com dados de impacto na arrecadação, a capacidade de identificar consumos anormais e reduzir erros de medição sugere um potencial aumento na faturação e, conseqüentemente, na arrecadação da entidade gestora. A implementação da

telemetria pode levar a alerta de vandalismo e irregularidades, contribuindo para a redução de consumos não autorizados.

Apesar do custo inicial da modernização dos sistemas de medição, o estudo econômico da Águas de Gaia sobre a substituição de contadores demonstrou a existência de um retorno financeiro teórico ao longo do tempo, com a redução das perdas compensando o investimento inicial. A substituição de contadores mais antigos permite diminuir a submedição, resultando num maior volume de água faturada. Financeiramente, é muito mais interessante reduzir um metro cúbico de perdas aparentes do que um metro cúbico de perdas reais, pois às perdas aparentes é atribuído o preço de venda da água. A implementação de sistemas de alta qualidade, como a telegestão, pode levar à redução da Água Não Faturada (ANF), permitindo reaver o retorno do investimento.

Logo, é possível afirmar que a melhoria da medição através da substituição de hidrômetros antigos, da utilização de tecnologias avançadas como os contadores ultrassônicos e da implementação da telemetria representa um investimento estratégico para as entidades gestoras. Embora haja um custo inicial significativo, as vantagens em termos de maior precisão, redução de perdas aparentes e potencial aumento da arrecadação demonstram um retorno financeiro a longo prazo e uma maior eficiência na gestão dos recursos hídricos.

#### 4.5 AUDITORIAS E FISCALIZAÇÃO

Auditorias e fiscalização representam outra vertente fundamental na estratégia de redução de perdas aparentes de água. Estas ações visam identificar e combater o consumo não autorizado, bem como garantir a precisão dos dados de cadastro dos consumidores.

As estratégias de auditorias e fiscalização são:

**Revisão do cadastro de consumidores:** esta estratégia envolve a verificação e atualização dos dados cadastrais dos consumidores pela entidade gestora. O objetivo é identificar possíveis inconsistências, como ligações não cadastradas ou informações desatualizadas sobre o número de economias por ligação. Esta revisão pode ser crucial para identificar ligações clandestinas ou irregulares.

**Combate a fraudes e ligações clandestinas:** esta é uma ação direta de inspeção e controle das ligações à rede de abastecimento. O objetivo é detectar e eliminar ligações diretas (sem hidrômetro), by-passes (desvios ao hidrômetro) e derivações de ramais que caracterizam o consumo ilícito. Inclui também a identificação de violações nos hidrômetros, como quebra de selos ou manipulação para submedição. A Companhia Espírito Santense de Saneamento

(CESAN) implementou um plano de ação integrado de combate às perdas reais e aparentes, que certamente incluiu ações de fiscalização. A criação de um gabinete de gestão de anomalias é recomendada para centralizar e dar seguimento a estas atividades. Adicionalmente, a instauração de processos de contraordenação é uma medida dissuasora importante.

A telemetria, discutida anteriormente, também pode auxiliar na fiscalização ao identificar consumos anormais ou nulos que podem indicar fraudes ou ligações clandestinas.

As vantagens das auditorias e da fiscalização, podemos destacar:

- O aumento da receita da concessionária: ao identificar e regularizar ligações clandestinas e combater fraudes, um volume de água anteriormente consumido sem faturação passa a ser cobrado. A eliminação da submedição causada por manipulação de hidrômetros também contribui para o aumento da receita. A regularização do sistema de abastecimento em áreas irregulares demonstrou aumentar o faturamento do volume utilizado.
- O maior controle sobre o consumo: as ações de auditoria e fiscalização permitem à entidade gestora obter um conhecimento mais preciso sobre quem e quanto está a consumir água. Isto facilita a gestão da demanda, a identificação de perdas e o planeamento de investimentos na rede. O controle operacional de perdas depende de informação de base credível.

As desvantagens das auditorias e fiscalização são:

- Dependência de fiscalização contínua e recursos humanos: a eficácia das auditorias e fiscalização depende da constância das ações e da disponibilidade de equipas de trabalho dedicadas. É necessário supervisionar os inspetores e implementar rotas de inspeção.
- Custos operacionais da fiscalização: as atividades de fiscalização envolvem custos com pessoal, deslocamentos e equipamentos. A necessidade de enviar equipas de trabalho para realizar inspeções gera custos para a entidade gestora.
- Potencial resistência da população: em áreas com ligações irregulares, pode haver resistência da população ao trabalho de regularização pela concessionária. A conscientização da população através de conversas e encontros comunitários pode ajudar a mitigar esta resistência.

#### 4.5.1 Estudo de Caso: Ações de Fiscalização e os Resultados Obtidos

O excerto do "ÊXITO NA REDUÇÃO DE PERDAS TOTAIS EM IBATIBA – ESPÍRITO SANTO - ES" descreve um estudo de caso de regularização do sistema de abastecimento de água em uma área periférica do Espírito Santo, onde foram identificados pontos irregulares de abastecimento. Após as ações de regularização e fiscalização, incluindo a conscientização dos moradores, houve uma redução de 32% no índice de perdas na região. A experiência da CESAN indica que essa região provavelmente apresentará reduções adicionais nas perdas após a estabilização do crescimento populacional. Este caso demonstra o impacto significativo que a fiscalização e a regularização podem ter na redução de perdas.

O recorte em "REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA- Submedição dos contadores e Consumos ilícitos" menciona que, ao detectar um consumo nulo num determinado cliente através da telemetria, torna-se possível inspecionar aquele cliente especificamente, diminuindo o tempo e os custos associados a inspeções generalizadas. Embora os excertos não apresentem uma comparação direta entre os custos operacionais da fiscalização tradicional e o aumento na arrecadação, o estudo de caso da Sabesp sugere que a redução significativa nas perdas (32%) resultante das ações de fiscalização e regularização provavelmente compensou os custos operacionais envolvidos, levando a um aumento líquido na arrecadação a longo prazo. A priorização de ações de fiscalização em áreas com maior incidência de irregularidades pode otimizar a relação custo-benefício.

#### 4.6 SISTEMA DE GESTÃO COMERCIAL

Os sistemas de Gestão Comercial desempenham um papel crucial na otimização da redução de perdas de água, especialmente as perdas aparentes, mas também podem influenciar a identificação de perdas físicas indiretamente.

Estratégias como a modernização do banco de dados é uma estratégia fundamental para um Sistema de Gestão Comercial eficiente. Um cadastro da rede atualizado e um cadastro comercial preciso são essenciais para conhecer o sistema de abastecimento e identificar onde as perdas podem estar ocorrendo.

O cruzamento de informações é outra estratégia poderosa. Ao integrar dados de diferentes fontes, como leituras de hidrômetros, informações cadastrais de clientes, histórico de consumo, e até dados operacionais da rede, é possível identificar inconsistências que

podem indicar perdas aparentes, como consumos anormais, ligações não cadastradas ou erros de medição. Por exemplo, um consumo zero ou muito baixo em um imóvel cadastrado pode levantar suspeitas de fraude, ou hidrômetro com defeito.

A principal vantagem de um Sistema de Gestão Comercial eficaz é o maior controle sobre os registros de consumo. Com dados precisos e atualizados, a entidade gestora pode monitorar o consumo de água de forma mais eficiente, identificar padrões e desvios, e rastrear o volume de água faturado e não faturado.

Isso leva à identificação rápida de problemas. Inconsistências nos dados podem sinalizar rapidamente potenciais erros de medição, fraudes, ligações clandestinas ou até mesmo áreas da rede com possíveis problemas que afetam a medição. A capacidade de avaliar o desempenho dos DMC (Distritos de Medição e Controle) também é aprimorada com um bom sistema de gestão comercial, permitindo identificar áreas mais problemáticas.

Uma desvantagem significativa é a necessidade de integração de sistemas. Um Sistema de Gestão Comercial eficiente precisa se comunicar com outros sistemas da entidade gestora, como o sistema de leitura de hidrômetros (incluindo telemetria, se houver), sistemas de cadastro técnico da rede, e sistemas financeiros e de faturamento. Essa integração pode ser complexa e exigir investimentos em tecnologia e desenvolvimento de interfaces.

Outra desvantagem é a necessidade de treinamento da equipe. Os funcionários que utilizarão o sistema precisam ser capacitados para inserir, consultar e analisar os dados corretamente, além de entender os procedimentos para investigar e solucionar as inconsistências identificadas.

#### **4.6.1 Estudo de Caso**

A implementação de um sistema de gestão eficiente, como o mencionado nos casos de estudo da AGS, demonstra seus benefícios. Embora o foco principal da AGS seja um método robusto para redução de perdas que envolve diagnóstico, plano de intervenção, implementação e suporte, a base para esse método é a análise detalhada da informação do sistema, incluindo dados de clientes e consumos. Um sistema de gestão comercial bem implementado fornece essa informação de base credível, essencial para identificar problemas e prioridades de intervenção, como a necessidade de substituir hidrômetros antigos ou investigar áreas com alta incidência de água não faturada. A regularização do sistema de abastecimento em áreas irregulares, como mencionado em um dos documentos, também

depende de um sistema de gestão comercial para cadastrar novos clientes e medir o consumo de forma adequada.

#### **4.6.3 Eficiência e Custos**

Um sistema de Gestão Comercial eficiente contribui diretamente para a redução de perdas comerciais (sinônimo de perdas aparentes em muitos contextos). Ao identificar e corrigir erros de medição, combater fraudes e regularizar ligações clandestinas, o volume de água não faturada diminui, o que tem um impacto significativo na arrecadação da entidade gestora. A água que antes era perdida passa a ser contabilizada e paga pelos consumidores.

Além do aumento da receita, a redução de perdas comerciais também pode levar a uma melhoria da eficiência operacional geral. Com um controle mais preciso sobre o consumo, a entidade gestora pode planejar melhor a produção e distribuição de água, evitando desperdício e otimizando o uso dos recursos hídricos e energéticos. A identificação precoce de problemas, possibilitada pelo sistema, também pode reduzir os custos associados a perdas maiores e mais prolongadas.

## 5 ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO E QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO: BALANÇO HÍDRICO PROPOSTO PELA IWA E OS INDICADORES DE DESEMPENHO.

### 5.1 APRESENTAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO E QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS

#### 5.1.1 Balanço Hídrico da IWA (International Water Association)

O balanço hídrico é um conceito utilizado para descrever a relação entre a entrada, a saída e o armazenamento de água em um sistema, seja ele um solo, uma bacia hidrográfica, um ecossistema ou até mesmo o corpo humano. Ele é fundamental para entender a disponibilidade hídrica em determinado ambiente e sua influência em processos como a agricultura, a gestão de recursos hídricos e as mudanças climáticas.

De acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (2002), o balanço hídrico pode ser expresso pela equação geral:

$$P - ET - R - \Delta A = 0$$

onde:

- **P** = precipitação (chuva, neve, granizo);
- **ET** = evapotranspiração (soma da evaporação direta do solo e a transpiração das plantas);
- **R** = escoamento superficial e subterrâneo;
- **$\Delta A$**  = variação do armazenamento de água no solo.

Essa equação representa a conservação da massa da água em um determinado sistema.

Precipitação (P):

A precipitação é a principal entrada de água em um sistema terrestre. Pode ser na forma de chuva, neve ou granizo, influenciando diretamente a recarga de aquíferos e o nível de umidade do solo (Allen *et al.*, 1998).

Evapotranspiração (ET):

A evapotranspiração representa a perda de água para a atmosfera. É dividida em:

- **Evaporação**: transferência direta da água da superfície do solo ou corpos d'água para a atmosfera.
- **Transpiração**: perda de água pelas plantas por meio dos estômatos (Allen *et al.*, 1998).

Escoamento (R):

O escoamento pode ser superficial ou subterrâneo. O escoamento superficial ocorre quando a chuva excede a capacidade de infiltração do solo, formando córregos e rios. O escoamento subterrâneo refere-se ao movimento da água no solo até os aquíferos (Tucci, 2009).

Armazenamento de Água no Solo ( $\Delta A$ ):

O solo tem capacidade de reter água, que pode estar disponível para as plantas ou recarregar lençóis freáticos. A quantidade de água armazenada varia conforme a textura do solo e sua capacidade de retenção hídrica (Pereira *et al.*, 2002).

O balanço hídrico é um instrumento fundamental na hidrologia e na gestão sustentável da água. Seu estudo permite a compreensão das interações entre precipitação, evapotranspiração, escoamento e armazenamento de água, possibilitando uma melhor administração dos recursos hídricos em diferentes escalas.

### 5.1.2 Indicadores de Desempenho

Os SAA enfrentam o desafio significativo das perdas de água, que podem ser avaliadas através de diversos indicadores de desempenho. Estes indicadores são cruciais para o monitoramento, a comparação entre sistemas e a definição de metas de redução de perdas.

Um dos indicadores gerais é o índice de perdas na distribuição, muitas vezes expresso como uma porcentagem em relação à água que entra no sistema. No Brasil, as perdas totais podem girar em torno de 37%, um valor considerado alto em comparação com a média internacional de 17%. No estudo anteriormente citado em Ibatiba, por exemplo, o índice de perdas totais foi reduzido de 234,5 l/lig./dia para 137 l/lig./dia. Embora prático para alertar a população, este indicador pode ser enganoso, pois não distingue entre perdas reais e aparentes e pode favorecer sistemas com alto consumo e baixa pressão.

Para uma avaliação mais detalhada, as perdas são geralmente divididas em perdas reais (físicas) e perdas aparentes (não físicas ou comerciais). A Associação Internacional da Água (IWA) recomenda indicadores separados para cada tipo de perda.

Os principais indicadores para avaliar perdas reais incluem:

- Índice de Perdas Reais por Ligação (IPRL), expresso em litros por ligação por dia (l/lig./dia). Este indicador é recomendado quando a densidade de ramais é superior a 20 ramais/km.
- Índice de Perdas Reais por Comprimento da Rede, expresso em litros por quilômetro por dia (l/km/dia).
- Índice Infraestrutural de Fugas (ILI), que relaciona as perdas reais atuais com as perdas reais inevitáveis. Podendo ser dada por:

$$ILI = CARL / UARL$$

Onde:

- CARL** = Perdas reais anuais atuais.
- UARL** = Perdas reais anuais inevitáveis.

A equação para calcular o UARL também é fornecida:  $UARL \text{ (l/dia)} = (18 \times Lm + 0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \times Pmed$ .

Sendo:

- Lm** – Comprimento da rede (km).
- Nc** – Número de ramais.
- Lp** – Comprimento médio dos ramais (km).
- Pmed** – Pressão média de operação na zona em estudo (m)

Um ILI próximo de 1 representa um sistema extremamente bem gerido, enquanto um ILI superior a 2 indica perdas médias elevadas. Este é considerado o indicador mais rigoroso para perdas reais, pois considera a pressão na rede, permitindo uma comparação significativa entre diferentes serviços.

Estes indicadores de perdas reais auxiliam no monitoramento ao permitir o acompanhamento da evolução das perdas ao longo do tempo e após a implementação de medidas de redução, como a pesquisa e reparo de vazamentos. Na comparação entre sistemas, especialmente o ILI, possibilita avaliar a eficiência na gestão de perdas reais, levando em consideração as características da rede e a pressão de operação. Na definição de metas, os valores de referência e as categorias de desempenho associadas a indicadores como o IPRL e o ILI permitem estabelecer objetivos realistas e mensuráveis para a redução de perdas.

Para avaliar perdas aparentes, o indicador recomendado é a percentagem do consumo autorizado. As perdas aparentes são constituídas por erros de medição e consumo não

autorizado. A submedição dos contadores devido à idade, desgaste ou vandalismo, e os consumos ilícitos (fraudes e ligações clandestinas) são as principais causas.

Ademais, volume de Água Não Faturada (ANF) é um indicador mais amplo que engloba tanto as perdas reais quanto o consumo autorizado não faturado. Pode ser expresso em volume (m<sup>3</sup>/ano) ou como uma percentagem da água que entra no sistema. A análise do ANF e suas componentes, como o consumo autorizado não faturado e as perdas de água (reais e aparentes), é fundamental para compreender a dimensão do problema e os custos associados. O custo da água não faturada também é um indicador relevante, pois permite priorizar as ações de redução com maior impacto econômico.

O monitoramento destes indicadores de perdas aparentes e ANF auxilia na identificação de áreas com potenciais problemas comerciais, como alta incidência de leituras baixas ou nulas, que podem indicar fraudes ou erros de medição. A comparação entre diferentes áreas ou períodos pode revelar tendências de aumento ou diminuição das perdas aparentes. Na definição de metas, a análise histórica e o estabelecimento de objetivos de redução da percentagem de ANF ou das perdas aparentes são passos importantes para melhorar a eficiência comercial do sistema.

Em suma, a utilização de um conjunto de indicadores, que distingam entre perdas reais e aparentes, é essencial para uma avaliação abrangente das perdas de água em sistemas de abastecimento. Estes indicadores fornecem informações valiosas para o monitoramento contínuo, a comparação do desempenho entre diferentes sistemas ou áreas, e a definição de metas de redução de perdas eficazes, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência da gestão dos recursos hídricos.

A utilização de um conjunto de indicadores, que distinguem entre perdas reais e aparentes, é essencial para uma avaliação abrangente das perdas de água em sistemas de abastecimento. Estes indicadores fornecem informações valiosas para o monitoramento contínuo, a comparação do desempenho entre diferentes sistemas ou áreas, e a definição de metas de redução de perdas eficazes, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência da gestão dos recursos hídricos.

## 5.2 ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS

A aplicabilidade dos indicadores de perdas varia significativamente dependendo das características do sistema de abastecimento de água, dessa forma, é possível fazer as seguintes comparações acerca:

#### Sistemas Urbanos vs. Rurais:

Sistemas Urbanos: Geralmente possuem redes de distribuição mais extensas e complexas, com maior número de ligações e, frequentemente, maior pressão. Indicadores como o Índice de Perdas Reais por Ligação (IPRL) e o Índice Infraestrutural de Fugas (ILI) tendem a ser mais informativos, pois normalizam as perdas pelo número de clientes ou pela extensão da rede, considerando a maior densidade de ligações. A setorização e a implementação de Distritos de Medição e Controle (DMCs), que são mais viáveis em sistemas urbanos densos, facilitam a aplicação e a interpretação destes indicadores em áreas menores e mais controladas. A disponibilidade de tecnologias como telemetria e sistemas SCADA em sistemas urbanos também permite uma recolha de dados mais contínua e precisa, fundamental para o cálculo e monitoramento eficaz dos indicadores.

Sistemas Rurais: Caracterizam-se por redes mais dispersas, com menor densidade de ligações e, por vezes, menor pressão e medição menos abrangente. O IPRL pode ser menos representativo devido ao menor número de ligações por quilômetro de rede. O Índice de Perdas Reais por Comprimento da Rede pode ser mais adequado nestes casos. A implementação de DMCs pode ser desafiadora devido à dispersão geográfica e aos custos associados à instalação de macromedição e controle. A determinação do balanço hídrico pode ser mais difícil pela falta de medição fiável em todas as componentes. Em sistemas de pequeno porte, a própria população pode ter um papel importante na identificação de vazamentos visíveis.

#### Redes Antigas vs. Modernas:

Redes Antigas: Tipicamente construídas com materiais mais suscetíveis a roturas e fugas, e com menor conhecimento detalhado da sua infraestrutura (cadastro desatualizado ou inexistente). O volume de água não faturada e o índice de perdas na distribuição podem ser elevados. A aplicação de indicadores de perdas reais, como o ILI, pode ser dificultada pela incerteza dos dados de entrada (extensão da rede, número de ligações, pressão média) e pela dificuldade em estabelecer zonas de monitorização e controle estanques. Nestes casos, o foco inicial pode ser na melhoria do cadastro, na setorização básica e na identificação de áreas críticas com maior incidência de perdas.

Redes Modernas: Projetadas e construídas com melhores materiais e tecnologias, geralmente possuem um cadastro mais preciso e sistemas de monitorização mais avançados. A aplicação de todos os indicadores de perdas é facilitada pela disponibilidade de dados fiáveis e pela possibilidade de implementar DMCs e sistemas de telemetria. O ILI torna-se uma ferramenta valiosa para comparar o desempenho com sistemas de referência e definir

metas ambiciosas de redução de perdas reais. A monitorização contínua de vazões e pressões permite a detecção precoce de anomalias e a intervenção rápida.

Para tornar os diagnósticos de perdas mais eficazes e acessíveis a diferentes realidades operacionais, podem ser considerados os seguintes melhoramentos e avanços:

- **Desenvolvimento de Metodologias Simplificadas para Pequenos Sistemas:** Criar abordagens para o cálculo do balanço hídrico e de indicadores de perdas que exijam menos dados detalhados da infraestrutura, adequadas para sistemas com recursos limitados e cadastro incipiente. A Prioridade NPR, sugere uma avaliação subjetiva dos fundamentos do controle de perdas, o que pode ser um ponto de partida para sistemas com dados limitados.
- **Aproveitamento de Tecnologias de Baixo Custo:** Explorar a utilização de tecnologias de monitorização de vazão e pressão mais acessíveis e de fácil implementação, mesmo em áreas rurais ou em sistemas com restrições orçamentárias. Sensores de baixo custo e sistemas de comunicação sem fios de longo alcance podem ser alternativas viáveis.
- **Fomento da Participação da Comunidade:** Em sistemas menores, especialmente rurais, envolver a comunidade na identificação de vazamentos visíveis e consumos irregulares através de campanhas de sensibilização e canais de comunicação facilitados.
- **Utilização de Ferramentas de Diagnóstico Remoto:** Empregar tecnologias como imagens de satélite e análise de dados geoespaciais para identificar potenciais áreas com problemas de perdas ou ligações não autorizadas, especialmente em sistemas extensos ou com cadastro incompleto.
- **Investimento em Formação e Capacitação:** Desenvolver programas de formação para as equipas operacionais sobre a importância dos indicadores de perdas, as metodologias de cálculo e as ações de monitorização e controle, adaptados às suas realidades e recursos disponíveis. A transferência de conhecimento e a partilha de boas práticas entre diferentes entidades gestoras, como promovido pela AGS, são cruciais.

## 6 ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE GESTÃO MAIS EFICAZES PARA A REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS E APARENTES

### 6.1 PRÁTICAS DE GESTÃO PARA REDUÇÃO DE PERDAS

A redução de perdas em sistemas de abastecimento de água é essencial para preservar recursos hídricos e aumentar a eficiência operacional. Essas perdas podem ser físicas, devido a vazamentos, ou aparentes, relacionadas a falhas de medição.

Métodos como monitoramento de vazamentos, controle de pressão, manutenção preventiva e gestão comercial são fundamentais para identificar e corrigir perdas. A seguir, O Quadro 3 apresenta as principais práticas de gestão para a redução de perdas, destacando os métodos, aspectos-chave e suas vantagens.

Quadro 3 - Principais práticas de gestão para a redução de perdas, os métodos, aspectos-chave e suas vantagens

<b>Método de Redução de Perdas</b>	<b>Aspectos-chave</b>	<b>Vantagens / Aplicações</b>
<b>Monitoramento e Detecção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de sensores acústicos, geofonamento (geofones eletrônicos) e gás traçador para localizar precisamente vazamentos não visíveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a detecção de fugas invisíveis.</li> <li>• A detecção precoce e reparação de vazamentos diminui significativamente o volume de água perdida. O uso de data loggers pode auxiliar na monitorização contínua.</li> <li>• A telemetria pode alertar para possibilidades de fuga.</li> </ul>
<b>Controle de Pressão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementação de válvulas redutoras de pressão (VRP) para diminuir a pressão na rede.</li> <li>• Setorização da rede para permitir a gestão da pressão em áreas específicas.</li> <li>• Manutenção dos níveis de pressão tão baixos quanto possível, assegurando a estabilização das pressões.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A pressão está diretamente relacionada com a taxa de fugas e rupturas no sistema.</li> <li>• O controle da pressão pode diminuir as perdas por fuga, o consumo e a taxa de rupturas.</li> <li>• Permite otimizar o funcionamento das bombas.</li> <li>• A setorização facilita a identificação de áreas críticas.</li> </ul>
<b>Manutenção Preventiva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realização de inspeções regulares da rede e dos ativos.</li> <li>• Substituição de tubulações antigas e materiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribui para assegurar o equilíbrio entre o desempenho, o custo e o risco dos ativos.</li> <li>• Diminui a probabilidade de</li> </ul>

	<p>obsoletos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Correção de falhas antes de se agravarem.</li> <li>● Gestão integrada dos ativos da rede para políticas de substituição, manutenção ou renovação sustentáveis. - Inspeção regular e manutenção preventiva de bombas.</li> <li>● Implementação de um programa de calibração, reparação e renovação do parque de contadores.</li> </ul>	<p>ocorrência de regimes transitórios hidráulicos que podem levar a rupturas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Permite a diminuição do volume de perdas e garante que este se mantenha num nível estável e controlado.</li> <li>● A substituição de materiais obsoletos por novos materiais mais eficientes pode reduzir perdas.</li> </ul>
<b>Gestão Comercial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Melhoria da precisão dos hidrômetros e combate à submedição.</li> <li>● Revisão e atualização dos cadastros de clientes. Ações para combater fraudes e consumos ilícitos. - Implementação de telemetria para monitorizar o consumo e detectar anomalias nos contadores.</li> <li>● Política de calibração de contadores. - Substituição de contadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduz as perdas aparentes resultantes de erros de medição e consumos não autorizados. - Melhora o nível de eficiência da entidade gestora e aumenta o faturamento.</li> <li>● A telemetria permite a emissão de alertas em caso de anomalias nos contadores.</li> <li>● Garante que os contadores instalados estão em bom estado de funcionamento</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Daniel Manzi e E. Rodrigues, 2018

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Torna-se evidente a complexidade e a urgência de abordar a problemática crucial de medidas para redução de perdas em SAA. Principalmente no âmbito da sustentabilidade dos recursos hídricos e a eficiência das entidades gestoras. A pesquisa demonstrou que as perdas de água, sejam elas reais (físicas) ou aparentes (não físicas), representam um significativo entrave ao desenvolvimento sustentável, com impactos de ordem econômica, ambiental, de saúde pública e social.

Ao longo deste estudo, foram analisadas diversas fontes que detalham as medidas existentes para mitigar ambos os tipos de perdas. No que concerne às perdas reais, a literatura enfatiza a importância de estratégias como o controle ativo de vazamentos através da pesquisa e reparação eficientes, a gestão para controle de pressão nas redes de distribuição, a setorização das redes para facilitar a detecção de anomalias, e a renovação e manutenção adequadas das infraestruturas. A análise dos estudos de caso ilustrou de forma prática a eficácia da pesquisa e combate a vazamentos, quantificando o volume de água recuperada e o respectivo retorno financeiro.

Relativamente às perdas aparentes, a revisão bibliográfica destacou a relevância do controle da submedição dos contadores através da sua calibração ou substituição periódica e do combate aos consumos não autorizados (fraudes e ilícitos).

Um aspecto central desta pesquisa foi a análise comparativa entre as diferentes medidas identificadas. Essa análise envolveu a consideração das vantagens e desvantagens de cada abordagem, a avaliação dos custos de implementação e manutenção, e a análise das estratégias de implantação mais adequadas a diferentes contextos. A análise de tabelas e dados apresentados nas diversas fontes, como o balanço hídrico detalhado e os resultados do estudo econômico da substituição de contadores, permitiu quantificar o impacto potencial das diferentes intervenções.

Outros aspetos relevantes que emergiram ao longo da pesquisa incluem a fundamental importância do balanço hídrico como ferramenta de diagnóstico e monitorização das perdas, a necessidade de sistemas de monitorização contínua e de gestão de informação eficientes, e o papel crucial da formação e qualificação de pessoal técnico para a implementação e sustentabilidade das medidas de redução de perdas. A metodologia proposta pela AGS demonstrou a importância de uma abordagem sistematizada e integrada para o controle e redução das perdas de água, envolvendo diversas fases desde o diagnóstico até à implementação e controle.

Outrossim, este trabalho reforça a ideia de que a redução das perdas de água em sistemas de abastecimento é um desafio multifacetado que exige uma combinação de medidas técnicas, econômicas, e de gestão. As análises comparativas realizadas entre as diferentes estratégias, considerando os seus custos, vantagens, desvantagens e aspectos de implementação, fornecem um panorama essencial para as entidades gestoras que buscam otimizar a sua eficiência e contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A pesquisa também sublinhou a importância de considerar o contexto específico de cada sistema, adaptando as medidas e estratégias de forma a alcançar os melhores resultados na redução das perdas de água.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G *et al.* **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements.** FAO, 1998.

ANDRIGO, Domingas Bacacheza. **Avaliação do nível de perdas de água no sistema de abastecimento de água do município de Chókwè.** 2022. Monografia (Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural) – Instituto Superior Politécnico de Gaza, Chókwè, 2022.

BLANC, João Paulo Mine *et al.* Redução de perdas de água tratada em um sistema de abastecimento de água. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 1, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 7 de mar. 2025.

CALIXTO, Bruno. **Sabesp desperdiça 32% da água que distribui.** Blog do Planeta, 22 jan. 2015. Disponível em: <https://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2015/01/bsabesp-desperdica-32-da-aguab-que-distribui.html>. Acesso em: 8 mar. 2025.

CAMPOS, Vinícius Chaves *et al.* Tecnologias aplicadas nas reduções de perdas de águas em sistemas de abastecimento. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 29743-29758, abr. 2022.

CARVALHO, Myrian Batista de. **A estrutura e a infraestrutura: análise da relação entre o desenvolvimento do sistema de abastecimento de água e a estrutura intraurbana de Campina Grande – PB.** 2020. 185 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

CLAUDINO, Cinthia Maria de Abreu *et al.* Avaliação das perdas em um sistema de abastecimento de água de pequeno porte no semiárido brasileiro por aspectos multicriteriais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 18, e13, 2021.

CORRÊA, Sabrina da Silva *et al.* Análise dos impactos ambientais proporcionados pelas perdas de água em sistemas de distribuição de água. **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v. 7, n. 3, p. 28096-28106, mar. 2021.

COSTA, Elza de Abreu *et al.* Êxito na redução de perdas totais em Ibatiba - Espírito Santo - ES. In: **21º SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, João Pessoa, 2024. Anais [...]. João Pessoa: ABES, 2024.

FELICIANO, João *et al.* Como promover a redução de perdas de água através de projetos integrados com diferentes entidades gestoras. In: **46ª Assembleia Nacional da ASSEMAE**, 2016, Jaraguá do Sul, SC.

FERREIRA, Aline Trog. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de água de lavagem de filtro de estação de tratamento de água**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, 2022.

FONTES, Jeyffeson Gomes. **Análise das perdas no sistema de abastecimento de água nas cinco cidades mais populosas do RN**. 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2023.

FRITZ, Rodrigo Tenório *et al.* Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 56408-56416, ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: IPEA, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3162/1/Mudan%C3%A7a%20do%20clima%20no%20Brasil....pdf>. Acesso em: 05 de mar. 2025.

MACHADO, Melissa Victoria Bader *et al.* Sistemas de abastecimento de água: estudo de caso – Vila Albert Sampaio. **Ciências e Tecnologia das Águas: inovações e avanços em pesquisa**. Editora Científica Digital, vol. 1, 2023.

MARQUES, Luis Otavio do Amaral *et al.* Benchmarking enquanto ferramenta de diminuição das perdas físicas em sistemas de abastecimento de água. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 24, p. 1-19, 2021.

MATHIAS, Denis Augusto; MANZI, Daniel. Redução de perdas reais de água no município de Itapira/SP através da pesquisa e combate de vazamentos. In: **45ª Assembleia Nacional da ASSEMAE**, Poços de Caldas, 2015. Anais [...]. Poços de Caldas: ASSEMAE, 2015.

MORAIS, Danielle Costa *et al.* Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 15-32, jan./abr. 2010.

PEREIRA, A. R et al. **Evapotranspiração**. FEALQ, 2002.

PETRI, Amanda Luiza. **Avaliação da gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água**: estudo de caso do Sistema de Água e Esgoto Pedra Branca em Palhoça/SC. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

PIZZO, Henrique da Silva *et al.* Aproveitamento de água pluvial: captação e utilização para fins não potáveis em uma residência de alto padrão na cidade de Juiz de Fora - MG. Revista Ibero-Americana de Humanidades, **Ciências e Educação**, São Paulo, v. 7, n. 6, jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v7i6.1428>. Acesso em: de mar. 2025.

PORTELA, Raphael Ricardo de Jesus *et al.* Análise das perdas nos sistemas de abastecimento de água nos municípios de Mato Grosso do Sul. **Geofronter**, Campo Grande, v. 9, p. 1-23, 2023. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF>>. Acesso em: 07 mar. 2025.

SAEC. **SAEC flagra 32 casos de furto de água em sete meses**. SAEC, 29 jul. 2019. Disponível em: <https://saec.sp.gov.br/index.php/2019/07/29/saec-flagra-32-casos-de-furto-de-agua-em-sete-meses/>. Acesso em: 8 mar. 2025.

SARAIVA, Guilherme Sousa. **Dimensionamento da rede de distribuição de água do residencial Veneza, no município de Balsas-MA, através dos softwares QGIS e EPANET**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2021.

SILVA, Gisley Carla Castro da. **Impacto do crescimento urbano nos serviços de saneamento básico no bairro Alto do Sumaré em Mossoró-RN**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

SILVA, Luana Ribeiro da *et al.* **Elaboração de procedimentos para a avaliação de outorgas de captação de água para sistemas públicos de abastecimento com visão em redução de perdas de água**. In: 32º Congresso da ABES - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 2023. Anais [...]. São Paulo: ABES, 2023.

SILVA, Lucas dos Santos *et al.* A importância da água de reuso na agricultura e as considerações da vigilância sanitária sobre a prática sustentável\*. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, São Paulo, v. 7, n. 1, jan. 2021.

SILVA, Yasmin Coelho Ribeiro da *et al.* Avaliação de perdas reais em sistemas de abastecimento de água de pequeno porte e análise de ações para redução e controle. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 10, n. 3, p. 50-61, dez. 2018.

SOUSA, L. D. J. *et al.* Regularização do sistema de abastecimento de água do município de São Paulo: redução de perdas e responsabilidade socioambiental. *REDE - Revista Expressão Da Estácio*, v. 4, p. 54-66, 2020.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora UFRGS, 2009.

VIANA D. **Estação de tratamento de água: funcionamento e etapas do processo**. 2018. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/estacao-tratamento-agua/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

VICENTINI, Liliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010

UZCATEGUI, Joaquin Alexander da Silva. **Redução de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água: Submedição dos Contadores e Consumos Ilícitos**. 2017. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.