

PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO EM UM DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE NO RECIFE/PE

WATER LOSSES IN A DISTRIBUTION SYSTEM IN A MEASUREMENT AND
CONTROL DISTRICT IN RECIFE/PE

Gisele Elaine Barbosa

geb@discente.ifpe.edu.br

Ronaldo Faustino da Silva

ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 da Agenda 2030, estabeleceu metas globais para o saneamento básico. Este estudo tem como objetivos, compreender as perdas de água em um sistema de medição e controle, bem como diagnosticar as perdas em uma área delimitada de um sistema de abastecimento e apresentar as principais ações desenvolvidas para controle e redução dessas perdas na organização. A metodologia utilizou os métodos Top x Down, utilizando o software WB EasyCalc, analisando fluxos de entrada e saída de água e calibrando os resultados por medições diretas de vazão e pressão ao longo de 48 horas pelo método Bottom x Up. A análise mostrou a necessidade de medidas estratégicas, como a modernização da infraestrutura, automação do sistema e reforço da macromedição e micromedição. Contudo, os resultados são específicos ao DMC 27, onde realizou-se o estudo de caso, podendo não ser generalizáveis a outras regiões devido a diferentes condições locais.

Palavras-chave: Sustentabilidade, balanço hídrico, escassez hídrica, eficiência operacional.

ABSTRACT

The United Nations (UN), through Sustainable Development Goal (SDG) 6 of the 2030 Agenda, has established global targets for basic sanitation. This study aims to understand water losses in a measurement and control system, diagnose losses in a specific area of a supply system, and present the main actions developed to control and reduce these losses within the organization. The methodology applied the Top-Down method using the WB EasyCalc software, analyzing water inflows and outflows and calibrating the results through direct flow and pressure measurements over 48 hours using the Bottom-Up method. The analysis highlighted the need for strategic measures, such as infrastructure modernization, system automation, and reinforcement of both macro and micro metering. However, the results are specific to DMC 27, where the case study was conducted, and may not be generalizable to other regions due to differing local conditions.

Keywords: Sustainability, water balance, water scarcity, operational efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) reconhece o acesso à água como um direito fundamental essencial à vida humana e ao desenvolvimento dos países (Soares; Signor, 2021). Apesar de avanços nos sistemas de abastecimento nas últimas duas décadas, cerca de 1,8 bilhão de pessoas no mundo ainda não têm acesso à água potável (Amin; Amin; Sá, 2022).

O Brasil, que possui 12% da água doce mundial, apresenta uma distribuição geográfica desigual desse recurso, com as regiões menos povoadas concentrando a maior parte dos mananciais, com o Nordeste, que concentra 27% da população, possuindo apenas 3% da água doce do país (Marengo, 2008; Brasil, 2022). Pernambuco, com 88,6% de seu território no semiárido, tem um dos menores volumes de água per capita do Brasil, com 1.270 m³ por habitante ao ano (Tomaz, 2001). A escassez hídrica é um problema recorrente nas regiões do agreste e sertão (Neto, 2011).

Diante desse cenário, as políticas públicas e o novo marco regulatório do saneamento desempenham um papel essencial na gestão dos recursos hídricos. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) visa garantir a alocação justa dos recursos hídricos, assegurando sua oferta conforme as necessidades da população (Lanna, 2008). Nesse sentido, o novo marco regulatório do Saneamento (Lei 14.026 de 2020), determina que as empresas de saneamento realoquem recursos para aprimorar a infraestrutura operacional e promover o uso sustentável dos recursos hídricos (Brasil, 2020).

No mesmo sentido, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 da Agenda 2030 estabelece metas globais para garantir o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos até o ano de 2030 (Macedo *et al.*, 2023). Para monitorar o cumprimento dessas metas, índices como o de perdas de água e o percentual da população atendida são analisados (Paganini; Bocchiglieri, 2021).

O Brasil enfrenta importante desafio no combate às perdas de água em seus sistemas de distribuição, um problema que ultrapassa a esfera técnica e econômica, apresentando implicações políticas, sociais e ambientais (Almeida, 2024).

A redução de perdas é, portanto, uma necessidade econômica e um fator de sustentabilidade ambiental. Diante disso, este estudo se justifica pela

importância de compreender as perdas de água em um distrito de Medição e Controle (DMC) localizado na Região Metropolitana do Recife (RMR), região com escassez hídrica.

1.1 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

- Compreender as perdas de água no DMC 27 Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa).

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar as perdas em uma área delimitada de um sistema de abastecimento; e
- Apresentar as principais ações desenvolvidas para controle e redução dessas perdas.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Compesa estrutura a Região Metropolitana do Recife (RMR) em Gerências de Unidade de Negócio Metropolitana (GNM), responsáveis pelo acompanhamento da produção dos principais sistemas de abastecimento, além da supervisão do desempenho operacional, comercial e econômico da distribuição de água na região.

Atualmente, Recife possui vinte e nove DMC implantados. O DMC 27, vinculado à GNM Centro, é abastecido pelo Sistema Tapacurá por uma rede com 1200 mm de diâmetro, proveniente da Alça Centro Abdias de Carvalho. Esse distrito atende os bairros de Afogados, Bongüi, Ilha do Retiro, Mangueira e Mustardinha, no município de Recife/PE.

No distrito, há dois tipos de monitoramento: os pontos de pressão (dataloggers), que registram as variações de pressão ao longo da rede, e os pontos de vazão com pressão (macromedidores). Eles medem a pressão e o volume de água disponibilizado, com o objetivo de garantir o monitoramento do volume e permitir a análise das pressões em locais como os de máxima e mínima pressão (Tito, 2023).

2.2 Levantamento de dados

Realizaram-se buscas em documentos oficiais das agências de água, em periódicos e repositórios, por artigos e trabalhos de conclusão de curso, relacionados aos temas do balanço hídrico e controle de perdas de água.

2.2.1 Classificação das perdas

Para padronizar a classificação das perdas de água em sistemas de abastecimento, a *International Water Association (IWA)* as divide em perdas reais (físicas) e perdas aparentes (comerciais) (Motta, 2010; Bággio, 2014). As perdas reais correspondem ao volume de água produzido que não chega ao consumidor devido a extravasamentos de reservatórios e vazamentos nas adutoras e nas redes de distribuição. Esses vazamentos podem ser visíveis, quando afloram à superfície, ou ocultos, quando exigem equipamentos específicos para identificá-los (Tsutiya, 2006; Motta, 2010). Reduzir essas perdas diminui os custos de produção e amplia a oferta de água disponível (Vicentini, 2012).

As perdas aparentes correspondem ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela organização que opera os sistemas devido a fraudes, erros de medição, ligações não autorizadas e falhas no cadastro comercial e ligações clandestinas. O Quadro 1 apresenta os principais efeitos e características das perdas reais e aparentes nesses sistemas.

Quadro 1 – Caracterização das perdas totais no sistema de distribuição de água.

Efeitos	Características	
	Perdas reais	Perdas aparentes
No sistema de distribuição	Vazamentos	Erro de medição
Nos custos associados ao volume de água perdido	Custos de produção	Tarifa (Receita operacional)
No meio ambiente	Desperdício de recurso hídrico	Não é relevante
	Necessidade de ampliações de mananciais	
Na saúde pública	Risco de contaminação	
Na empresa	Perda do produto	Perda de receita
Na sociedade	Imagem negativa	Não é uma preocupação imediata
Ao consumidor	Repasse para tarifa	Roubos e fraudes
	Desincentivo ao uso racional	

Fonte: Adaptado de Guimarães, 2019, p. 25.

2.2.2 Coleta de dados operacionais

Obtiveram-se informações operacionais do DMC 27, referentes ao período de novembro de 2023 a outubro de 2024, por meio do BI – Portal Cooperação, *Business Intelligence* (Inteligência de Negócios), que é um conjunto de ferramentas. Esse espaço publica informações utilizando o sistema *Plant Information Management System (PIMS)*, que transforma os dados de produção e distribuição de água, medidos diretamente das unidades operacionais, seja por sistemas de automação ou de forma manual, em informações.

2.3 Determinação dos Balanços Hídricos e Indicadores de Perdas

Os métodos *Top x Down* e *Bottom x Up* são recomendados pela IWA e amplamente adotados por organizações e agentes reguladores em todo o mundo. O método *Top x Down* consiste na realização de um mapeamento do caminho que a água faz dentro da área analisada, no qual são necessárias as principais informações operacionais, cadastrais e comerciais, começando pelos dados macros e caminhando para os dados micros, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Dados de entrada e resultados para o Balanço Hídrico *Top x Down*

Dados de entrada BH Top x Down	Resultados
Volume de entrada no sistema	Balanço Hídrico em m ³ /ano
Consumo faturado	Balanço Hídrico em m ³ /dia
Consumo não faturado	Balanço Hídrico para o período
Consumo não autorizado	Indicadores de Performance
Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados	Ferramenta "E SE"
Dados da rede	Dados históricos
Pressão	-
Abastecimento intermitente	-
Informação financeira	-

Fonte: Adaptada da WB EasyCalc, versão 6.17, 2021.

Com esses dados obtidos, realiza-se a determinação do balanço hídrico *Top x Down*, utilizando-se do software livre WB EasyCalc versão 6.17, desenvolvido pela IWA, contabilizando as entradas e saídas de água do sistema. Para isso, subtrai-se do volume total fornecido os consumos medidos ou não-medidos, faturados ou não-faturados, sendo a diferença resultante correspondente as perdas.

A partir das estimativas fornecidas sobre fraudes, ligações clandestinas e erros de medição, é construída uma segmentação das perdas, possibilitando

calcular os indicadores de performance e permitindo a identificação de ineficiências e a proposição de alternativas para a melhoria do desempenho operacional e redução de perdas.

Para avaliar as perdas de água no DMC 27, foram utilizados indicadores estabelecidos pela IWA, que servem como ferramentas de planejamento, controle operacional e avaliação de desempenho, conforme descrito no Quadro 3 (Guimarães, 2019).

Quadro 3 - Definição das variáveis dos indicadores e índices da IWA

Categoria	Variáveis	Descrição
Perdas aparentes	VPa [m³/ano]	Indicador para metas globais e monitoramento de perdas.
	IPLa [l/lig/dia]	Mede a eficiência de um sistema. Pode ser expresso em l/km/dia para sistemas < 20/lig/km.
	ALI	Avalia o peso das perdas comerciais em relação ao consumo autorizado.
Perdas reais	VPr[m³/ano]	Indicador para metas globais e monitoramento de perdas.
	IPLr (q.s.p.)* [l/lig/dia]	Mede a eficiência de um sistema. Pode ser expresso em l/km/dia para sistemas < 20/lig/km. *na terminologia IWA, significa “quando a rede pressurizada”.
	ILI ou IIE	Indicador para comparar diferentes sistemas.

Fonte: Adaptado de Guimarães, 2019.

Os indicadores para o diagnóstico das perdas incluíram o Índice de Perdas por Ligação (IPL), o Índice de Vazamentos da Infraestrutura (IVI) e o Indicador de Perdas por Extensão de Rede (IPE). Os cálculos foram baseados nas equações e parâmetros descritos por Tardelli (2015) e Moll (2019). O Quadro 4 apresenta esses parâmetros utilizados para avaliar os sistemas de água.

Quadro 4 - Indicadores e índices da IWA

Indicador	Equação	Legenda
Índice de Perdas por Ligação (IPL)	$\frac{(Vp \times 1000)}{(N \times 365)} [l/lig/dia]$	Vp = volume de perdas reais, aparentes ou totais [m³/ano] N = número de ligações.
Índice de vazamentos da infraestrutura (IVI)	IPLr/PRI [adimensional]	IPLr = Perdas reais por ligação [l/ligação.dia]; PRI = perdas reais inevitáveis [l/ligação.dia].
Perdas Reais Inevitáveis (PRI)	$\left(18 \times \frac{Lm}{N} + 0,8 + 25 \times Lp \right) \times \frac{P}{10}$	Lm = extensão da rede de distribuição [km]; N = número de ligações; P = pressão média de operação da rede de distribuição [kPa]; Lp = distância média entre os ramais prediais e o alinhamento predial [m]*. *no Brasil, os hidrômetros normalmente são instalados no alinhamento predial, logo Lp=0
Indicador de perdas por extensão de rede (IPE)	$\frac{VP}{Lp \times \frac{tp}{24} \times 365} \left[\frac{m^3}{km} \cdot dia \right]$	VP = volume de perdas reais ou totais (m³/ano); Lm = extensão da rede de distribuição de água [km]; tp = tempo de pressurização no sistema [horas].

Fonte: Adaptado de Moll, 2019.

A classificação dos resultados seguiu a Matriz de Avaliação de Perdas Reais, que categoriza o desempenho técnico do sistema com base na pressão média da rede e no nível de desenvolvimento da região, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Matriz de Avaliação de Perdas Reais

Categoria de performance técnica		IVI	litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado) numa pressão média de:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
País Desenvolvido	A1	< 1.5		< 25	< 40	< 50	< 60
	A2	1.5 - 2		25-50	40-75	50-100	60-125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
País em Desenvolvimento	A1	< 2	< 25	< 50	< 75	< 100	< 125
	A2	2-4	25-50	50-100	75-150	100-200	125-250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000
A1	Reduções adicionais são limitadas, exceto se houver possibilidade de reduzir pressão.						
A2	Reduzir perdas pode não ser viável economicamente sem escassez; requer análises detalhadas.						
B	Potencial de melhoria com gerenciamento de pressão, controle de vazamentos e manutenção da rede.						
C	Registro de vazamentos é falho; tolerável apenas se a água for abundante e barata, mas requer análise.						
D	Recursos são usados de forma ineficiente; a redução de vazamentos deve ser prioridade.						

Fonte: Adaptado de Moll, 2019.

A adoção dessas métricas permitiu analisar a eficiência operacional do sistema estudado, identificar os principais pontos críticos e subsidiar a proposição de estratégias para a redução das perdas, considerando a viabilidade técnica e econômica das medidas corretivas.

Os dados utilizados foram comparados com referências estabelecidas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que aponta um volume médio de perdas de 343,4 L/lig./dia nos municípios brasileiros. Além disso, foi considerada a meta estabelecida pela Portaria nº 490/20, que determina a redução desse índice para 257,55 L/lig./dia até 2034 (Brasil, 2021).

O Quadro 6 apresenta a matriz com os componentes do balanço hídrico *Top x Down*, conforme IWA. Para calibrar o balanço hídrico *Top x Down*, foi utilizado o balanço hídrico *Bottom x Up*. Para isso, foram realizadas medições de vazões e pressões por 48 horas no DMC 27, utilizando-se maleta pitométrica de levantamento de parâmetros hidráulicos em conjunto com tubo de Pitot Cole.

Quadro 6 – Modelo de matriz para balanço hídrico da WB-EasyCalc m³/dia.

Volume de entrada	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado	Água faturada
			Consumo não medido faturado	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado	Água não faturada
			Consumo não medido não faturado	
	Perdas de água	Perdas Aparentes	Consumo não autorizado	
			Submedição dos hidrômetros	
			Falhas no sistema comercial/Falha no processo de leitura	
		Perdas Reais	Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios	

Fonte: Adaptada da ABES, 2015.

Esse método estima as perdas de água somando componentes como erros de medição, vazamentos não visíveis e consumos não autorizados. Diferente do método *Top x Down*, que calcula as perdas subtraindo a água faturada do volume de entrada no sistema, o método *Bottom x Up* detalha as perdas no nível operacional, analisando as vazões mínimas noturnas.

O cálculo das perdas reais baseia-se no Volume Diário de Perdas Reais (VDPR), obtido a partir do Fator Noite Dia (FND) e da Vazão Mínima Noturna (Qmn). O FND, que varia entre 0,5 e 2,5 conforme o material da tubulação, converte a vazão mínima noturna no volume diário de perdas e é determinado com base na pressão média da rede, pressão na vazão mínima noturna e o fator de escala do tipo de tubulação. O FND é determinado pela Equação 2, com base na relação entre a pressão média da rede (P1), pressão na vazão mínima noturna (P0) e o fator de escala (N1), conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Tipo de tubulação e determinação do N1

Condição	Valor de N1	Equação VDPR	Equação FND
Tubulações metálicas	0,5	$VDPR = FND \left(\frac{l}{s}\right) \times Q_{mn} \left(\frac{l}{s}\right)$	$FND = \sum \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N1}$
Pequenos vazamentos em juntas e	1,5		
Rupturas longitudinais em tubulações	Até 2,5		
Grandes sistemas com materiais	Entre 1 e 1,15		

(Aesbe, 2015).

2.4 Análise das ações de controle e redução das perdas

As perdas de água resultam em desperdício de recursos que impacta a qualidade de vida da população (Pierri, 2023). Mesmo em países com infraestrutura desenvolvida, essas perdas podem chegar em uma média de

15% (Fritz; Gimenes; Filho, 2020). Em países em desenvolvimento, fatores como redes antigas, recursos tecnológicos insuficientes, ausência de cadastros técnicos e comerciais e o abastecimento intermitente elevam esse índice para uma média de 35% (Carvalho; Gomes; Marques, 2024).

No Brasil, segundo o SNIS (2022), 37,8% da água distribuída é perdida, superando os índices de países desenvolvidos (Brasil, 2023). No Nordeste, onde a escassez hídrica é uma realidade, as perdas superam a média nacional, alcançando 46,7%. Pernambuco, por exemplo, registrou 48,5% de perdas em 2022, figurando entre os estados brasileiros com maior desperdício (Gouveia; Silva, 2022; Brasil, 2023).

Para avaliar a eficácia das estratégias de controle, analisaram-se os indicadores de perdas da organização, com foco nos índices de macromedição e micromedição, com dados extraídos do BI – Portal Cooperação, a fim de avaliar a evolução das estratégias implementadas.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 DMC 27 – Balanço Hídrico *Top x Down*

A simulação, utilizando os dados de entrada, presentes no do Quadro 8, detalhou a distribuição do volume de entrada, o consumo autorizado e as perdas aparentes e reais. As perdas totais do DMC 27 foram de 65.979,070m³, volume que corresponde a 74,99% do volume disponibilizado, conforme Figura 1. Foi observado que as perdas reais predominam em relação as perdas aparentes, atingindo um percentual de 70,29% das perdas totais.

Quadro 8 – Dados de entrada do DMC 27 para elaborar o balanço hídrico Top x Down

Dados de entrada BH Top x Down	
Volume de entrada no sistema (m ³ /ano)	87.976,902
Consumo medido faturado (m ³ /ano)	18.226,828
Consumo não medido faturado (m ³ /ano)	3.672,000
Consumo não autorizado (m ³ /ano)	14.457,000
Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados (m ³ /ano)	5.140,900
Extensão da rede (km)	42,76
Pressão (mca)	10
População abastecida (un)	30.186
Número de ligações reais de água (un)	8.918
Tempo médio de abastecimento (h)	24

Fonte: Adaptado do BI Portal Cooperação, 2024.

Figura 1 – Balanço Hídrico Top x Down para o DMC 27

Volume de Entrada no 87.976.902 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,6%	Consumo autorizado 21.997.832 m3/year Margem de erro [+/-] 1,8%	Consumo autorizado faturado 18.230.500 m3/ano	Consumo medido faturado 18.226.828 m3/year	Água faturada 18.230.500 m3/ano	
			Consumo não medido faturado 3.672 m3/year		
	Perdas de água 65.979.070 m3/ano Margem de erro [+/-] 14,1%	Consumo autorizado não faturado 3.767.332 m3/year Margem de erro [+/-] 10,5%	Consumo medido não faturado 2.513.491 m3/year		Água não faturada 69.746.402 m3/ano Margem de erro [+/-] 13,4%
			Consumo não medido não faturado 1.253.841 m3/year Margem de erro [+/-] 31,4%		
		Perdas Aparentes 19.597.900 m3/year Margem de erro [+/-] 5,8%	Consumo não autorizado 14.457.000 m3/year Margem de erro [+/-] 6,9%		
			Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 5.140.900 m3/year Margem de erro [+/-] 10,0%		
Perdas Reais 46.381.170 m3/year Margem de erro [+/-] 20,3%					

Fonte: Desenvolvido pela autora a partir do Software WB EasyCalc.

O processo de urbanização desordenada contribui para altos índices de perdas de água. Dessa forma, a identificação das causas e a adoção de estratégias de mitigação são essenciais para reduzir impactos financeiros e operacionais no saneamento. De acordo com Tardelli (2015), as perdas reais estão ligadas à infraestrutura dos sistemas, sendo causadas por vazamentos em tubulações antigas, alta pressão e falhas na manutenção, contribuindo para a falta de água, comprometendo a situação econômico-financeira da empresa. Já as perdas aparentes, que pode representar de 15 a 35% do volume distribuído no Brasil e na América Latina, resultam do consumo não autorizado, fraudes, submedições e falhas no sistema comercial (Bággio, 2014; Coelho, 2020). No DMC 27, as perdas aparentes representaram 22,28% do volume distribuído.

3.1.1 DMC 27 – Indicador de Performance

O resultado do balanço hídrico para os indicadores de performance do DMC 27 é apresentado na Figura 2. O distrito opera de forma ineficiente para um país em desenvolvimento, sendo classificado na categoria “D”, que aponta que existe um grande potencial para melhorias expressivas. Quanto ao indicador de perdas por ligação, foi encontrado o valor de 1.284 L/lig/dia, que corresponde a 3,74 vezes a média nacional que é de 343,4 L/lig/dia.

3.2 Balanço Hídrico *Bottom x Up*

Conforme a Figura 3, o método *Bottom-Up* apresentou um ILI de 98,9, com uma diferença de 5,9 em relação ao *Top-Down*. Essa diferença pode ser explicada por particularidades metodológicas, conforme descrito por Sanders e Sachilombo (2024), que destacam a importância de medições detalhadas na previsão de perdas e anomalias.

A estimativa de perdas reais pelo método *Bottom x Up*, mostrou-se eficaz para a quantificação das perdas no sistema e na validação do método *Top x Down*. Os dados coletados ao longo de 48 horas permitiram calcular o consumo mínimo noturno e o volume de perdas na hora mínima noturna, necessários para avaliar a eficiência do sistema. Os resultados indicam uma perda real anual de 2.826,633 m³, com perdas inevitáveis de 28.573 m³/mês.

Figura 2 – Indicador de Performance de perdas para o DMC 27

Indicadores de Performance de perdas reais					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido	País em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	93	28%	67	119	D	D
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	1.284	23%	989	1.579		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	90	31%	62	118		
m3/km rede por hora (q.s.p.)	6,37	23%	4,93	7,81		
Indicadores de Performance de perdas aparentes					Explicações	Explicações
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	76%	5%	72%	80%		
litros/ligação/dia	303	7%	282	324		
litros/cliente/dia	322	10%	290	354		

Fonte: Desenvolvido pela autora a partir do Software WB EasyCalc.

Figura 3 – Balanço Hídrico Bottom x UP para o DMC 27

MODELO DE PERDAS EM DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC) - BALANÇO BOTTOM x UP							
Sistema	Zona/Setor			Nº DMC		27	
Entrar com valores nos espaços em branco (apagar os dados de exemplo)							
OBS:	PRAI = (18*ER + 0,8*NL)*P			Habitantes	30.186	hab	
	N1 = log (L0 / L1) / log (P0 / P1)			Ext rede	42,76	km	
	VDPR = (P1/P0)*N1 x Qmn			Ligações	8.918	Ligações totais	
	Qmn = Vazão mínima noturna encontrada- Consumo mínimo (critério Sabesp)						
	Consumo mínimo (critério Sabesp) = (0,34*Habitantes + 0,05*Ligações)/1000		N1 ADOTADO:	1,15	PERFIS DIÁRIOS		
ORDEM	DATA / HORÁRIO	Pressões médias	Volumes horários de vazamentos	Perdas Inerentes IWA	Perdas inevitáveis - IWA	Consumo Autorizado + Perdas Aparentes	Volume de entrada
		mca	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
1	00:00:00	11,00	363,64	2,10	3,68	52,16	415,80
2	01:00:00	11,51	383,10	2,22	3,88	30,65	413,75
3	02:00:00	11,67	389,23	2,25	3,94	26,86	416,09
4	03:00:00	11,92	398,83	2,31	4,04	39,65	438,48
5	04:00:00	11,91	398,45	2,31	4,03	14,72	413,17
6	05:00:00	11,71	390,76	2,26	3,95	24,96	415,73
7	06:00:00	10,66	350,75	2,03	3,55	77,69	428,44
8	07:00:00	10,08	328,89	1,90	3,33	107,17	436,07
9	08:00:00	9,37	302,40	1,75	3,06	138,93	441,32
10	09:00:00	8,86	283,55	1,64	2,87	160,69	444,24
11	10:00:00	8,52	271,07	1,57	2,74	178,46	449,53
12	11:00:00	7,82	245,62	1,42	2,49	207,30	452,92
13	12:00:00	8,34	264,49	1,53	2,68	185,25	449,75
14	13:00:00	8,37	265,59	1,54	2,69	183,19	448,78
15	14:00:00	8,96	287,23	1,66	2,91	153,81	441,04
16	15:00:00	9,12	293,14	1,70	2,97	147,43	440,57
17	16:00:00	8,97	287,60	1,66	2,91	143,25	430,85
18	17:00:00	8,67	276,56	1,60	2,80	153,85	430,42
19	18:00:00	8,70	277,67	1,61	2,81	155,52	433,19
20	19:00:00	9,20	296,09	1,71	3,00	134,03	430,13
21	20:00:00	9,27	298,69	1,73	3,02	124,31	423,00
22	21:00:00	9,79	318,04	1,84	3,22	105,07	423,11
23	22:00:00	10,22	334,15	1,93	3,38	88,27	422,42
24	23:00:00	10,08	328,89	1,90	3,33	91,62	420,52
25	00:00:00	10,50	344,70	1,99	3,49	73,47	418,18
26	01:00:00	10,81	356,43	2,06	3,61	59,23	415,66
27	02:00:00	11,16	369,73	2,14	3,74	46,07	415,80
28	03:00:00	11,25	373,16	2,16	3,78	44,80	417,96
29	04:00:00	11,31	375,45	2,17	3,80	40,60	416,05
30	05:00:00	11,15	369,35	2,14	3,74	48,75	418,10
31	06:00:00	10,82	356,81	2,06	3,61	63,89	420,70
32	07:00:00	10,04	327,39	1,89	3,31	97,70	425,09
33	08:00:00	9,22	296,84	1,72	3,00	138,37	435,20
34	09:00:00	8,82	282,07	1,63	2,85	153,81	435,89
35	10:00:00	8,04	253,58	1,47	2,57	187,45	441,04
36	11:00:00	8,58	273,27	1,58	2,77	170,69	443,95
37	12:00:00	8,49	269,97	1,56	2,73	175,64	445,61
38	13:00:00	8,43	267,78	1,55	2,71	176,21	443,99
39	14:00:00	9,15	294,25	1,70	2,98	146,86	441,11
40	15:00:00	9,46	305,74	1,77	3,09	127,05	432,79
41	16:00:00	9,60	310,95	1,80	3,15	122,17	433,12
42	17:00:00	9,82	319,16	1,85	3,23	111,33	430,49
43	18:00:00	9,60	310,95	1,80	3,15	125,08	436,03
44	19:00:00	10,35	339,04	1,96	3,43	91,52	430,56
45	20:00:00	10,49	344,32	1,99	3,48	84,00	428,33
46	21:00:00	10,90	359,85	2,08	3,64	66,14	425,99
47	22:00:00	11,25	373,16	2,16	3,78	50,05	423,22
48	23:00:00	11,43	380,04	2,20	3,85	43,36	423,40
PMS - TOTAIS:		9,9	15.488	90	157	5.169	20.658
Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:				3,26	ILI		
Vazão mínima noturna - m³/h:				413,17	98,9		
Consumo mínimo noturno legítimo - % de Q min:				3,56%			
Consumo mínimo noturno legítimo - critério SABESP m³/h:				14,72			
Vazão de perdas na hora mínima noturna - m³/h:				398,45			
INDICADORES DO DMC							
PERDAS REAIS ANUAIS CORRENTES:				2.826.639	M³/ANO		
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS _{IWA} :				28.573	M³/ANO	ILI	98,9
PERDAS REAIS EM L / LIG / DIA:				868	L/LIG/DIA	PR % do Vol. Entrada	74,98%
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:				7,546	(m³/h)/km rede	Densidade de ligações - com/km rede	208,56

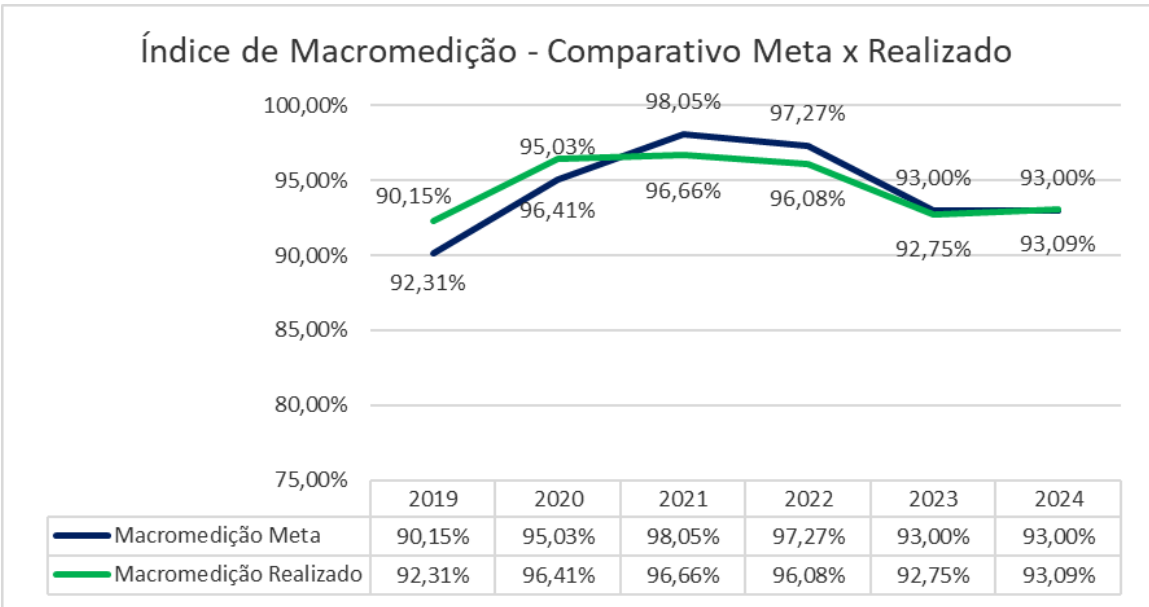
Fonte: Desenvolvido pela autora a partir da ferramenta WB EasyCalc

3.3 Contramedidas para combate às perdas de água

3.3.1 Índice de macromedicação e micromedicação

A Figura 4 apresenta que houve um crescimento contínuo até 2021 no parque de macromedidores, seguido por uma leve queda e estabilização. A proximidade entre os valores de meta e realizado, indica que as ações implementadas foram eficazes, mas ajustes são necessários para a manutenção do índice.

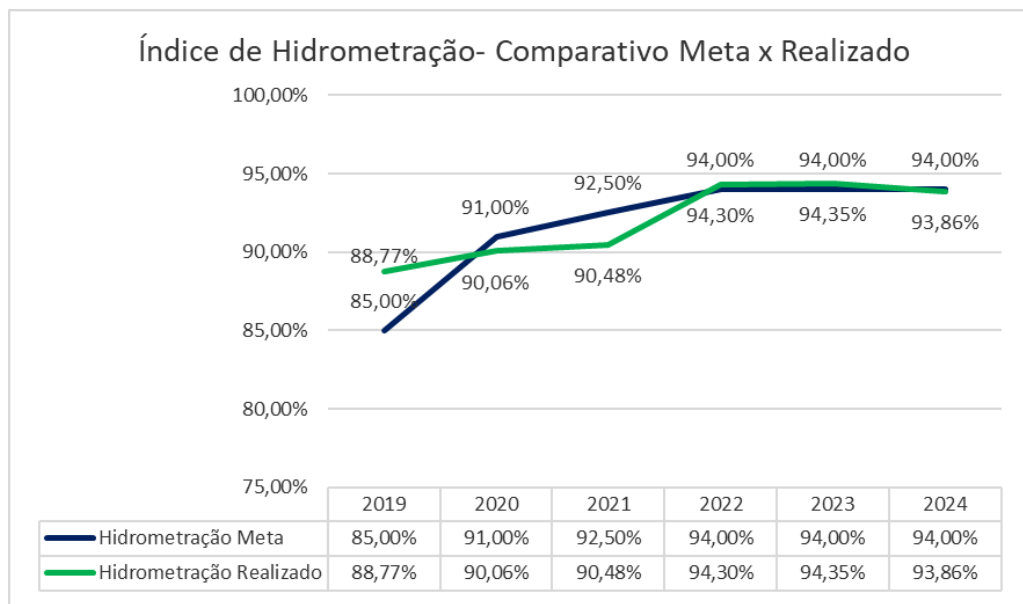
Figura 4 – Índice de Macromedicação – Comparativo do estimado x realizado



Fonte: Desenvolvido pela autora a partir dos dados internos.

No que se refere à micromedicação, na Figura 5 se evidencia que as ações de melhoria têm resultados próximos das metas estabelecidas. No entanto, a leve queda observada em 2024 destaca a necessidade de esforços contínuos para evitar a perda de desempenho. A manutenção preventiva e a substituição de hidrômetros são fundamentais para assegurar a precisão nas medições e a sustentabilidade dos bons resultados alcançados (Bueno, 2022).

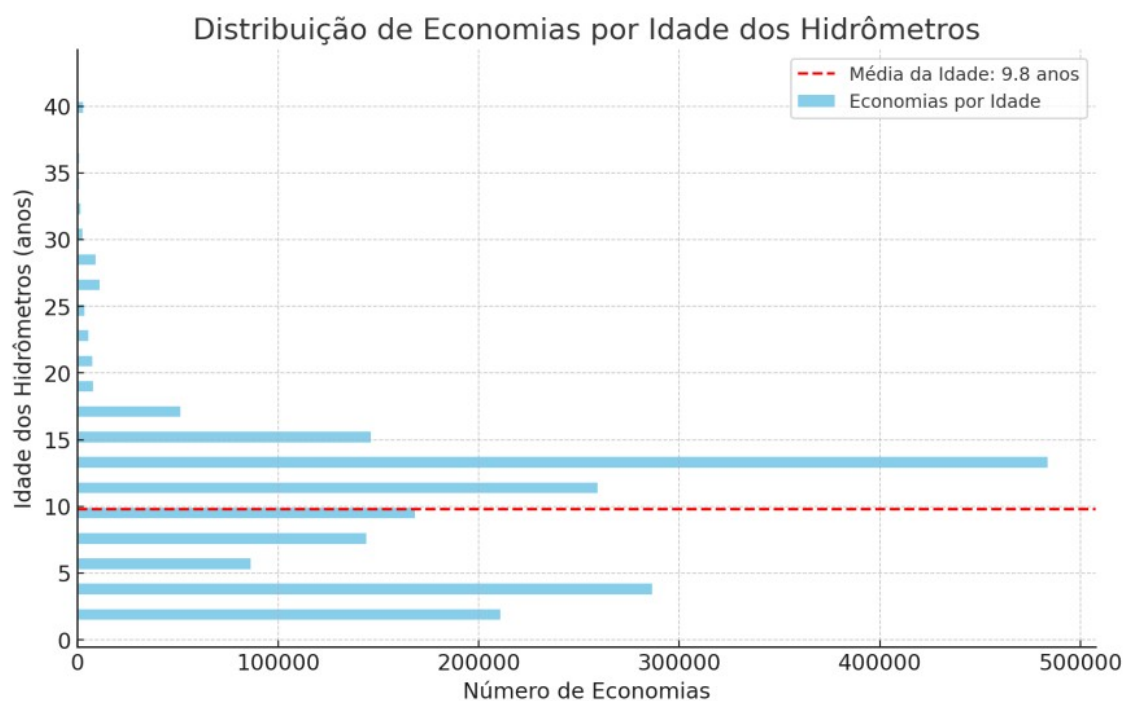
Figura 5 – Índice de Hidrometração – Comparativo do estimado x realizado



Fonte: Desenvolvido pela autora a partir dos dados internos.

A Figura 6 ilustra a distribuição de economias pelo tempo de uso dos hidrômetros em anos, demonstrando que a maioria das economias possui hidrômetros entre 10 e 15 anos, acima da média que é de 9,8 anos.

Figura 6 – Distribuição de economias x idade do parque de hidrômetros.



Fonte: Desenvolvido pela autora a partir dos dados internos.

O resultado obtido pelo método *Top x Down* foi semelhante ao encontrado por Tito (2023) para o DMC 39, também localizado na RMR. Isso sugere a necessidade de melhoria na manutenção da rede, controle de vazamentos e aprimoramento dos processos de medição e faturamento.

Quanto aos indicadores de performance, Tito (2023) encontrou a mesma categoria em seu estudo, que resultou nas seguintes recomendações para uma melhor performance: gerenciamento de pressão, controle ativo de vazamentos e manutenção adequada das redes. Madeira e Pena (2020), aplicaram a metodologia da *IWA* na Vila Residencial da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e destacaram a necessidade de investimentos em gestão de infraestrutura, gerenciamento de pressões e controle ativo de vazamentos. Segundo os autores, a abordagem *Top x Down* possibilita uma rápida quantificação das perdas totais, além de sua divisão em perdas reais e aparentes, auxiliando nas análises iniciais e definição de estratégias de controle.

Sanders e Sachilombo (2024), reforçam a necessidade de controle ativo de perdas, utilizando aprendizado de máquina para prever perdas e anomalias. Eles apontam que o controle dessas perdas deve envolver gestão de pressão, supervisão da rede e aprimoramento dos sistemas de medição, possibilitando uma resposta mais eficiente e precisa na identificação de anomalias.

Para o método *Bottom x Up*, de acordo com Baggio (2014), além da possibilidade de imprecisões de medição e manipulação de dados, a diferença entre os valores ocorre, porque o método *Top x Down* utiliza dados globais estimados, enquanto o *Bottom x Up* se baseia em medições em setores específicos. Quanto a idade média do parque de hidrômetros, o cenário encontrado revela um desafio, uma vez que a literatura aponta que hidrômetros mais antigos apresentam maior probabilidade de subestimar os volumes consumidos devido ao desgaste mecânico e à redução de sua precisão (Bueno, 2022).

Quanto aos investimentos tecnológicos para o gerenciamento dos parâmetros dos sistemas para uma melhor prestação de serviço, a Compesa, instalou na RMR cerca de 2.000 dataloggers que permitem gerenciar e monitorar os sistemas de abastecimentos de água. Além disso, estão sendo implementadas estratégias focadas na redução das perdas reais, relacionadas

a vazamentos e falhas na infraestrutura e das perdas aparentes, relacionadas a imprecisões de medição e fraudes, conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Ações desenvolvidas para o combate às perdas na Compesa

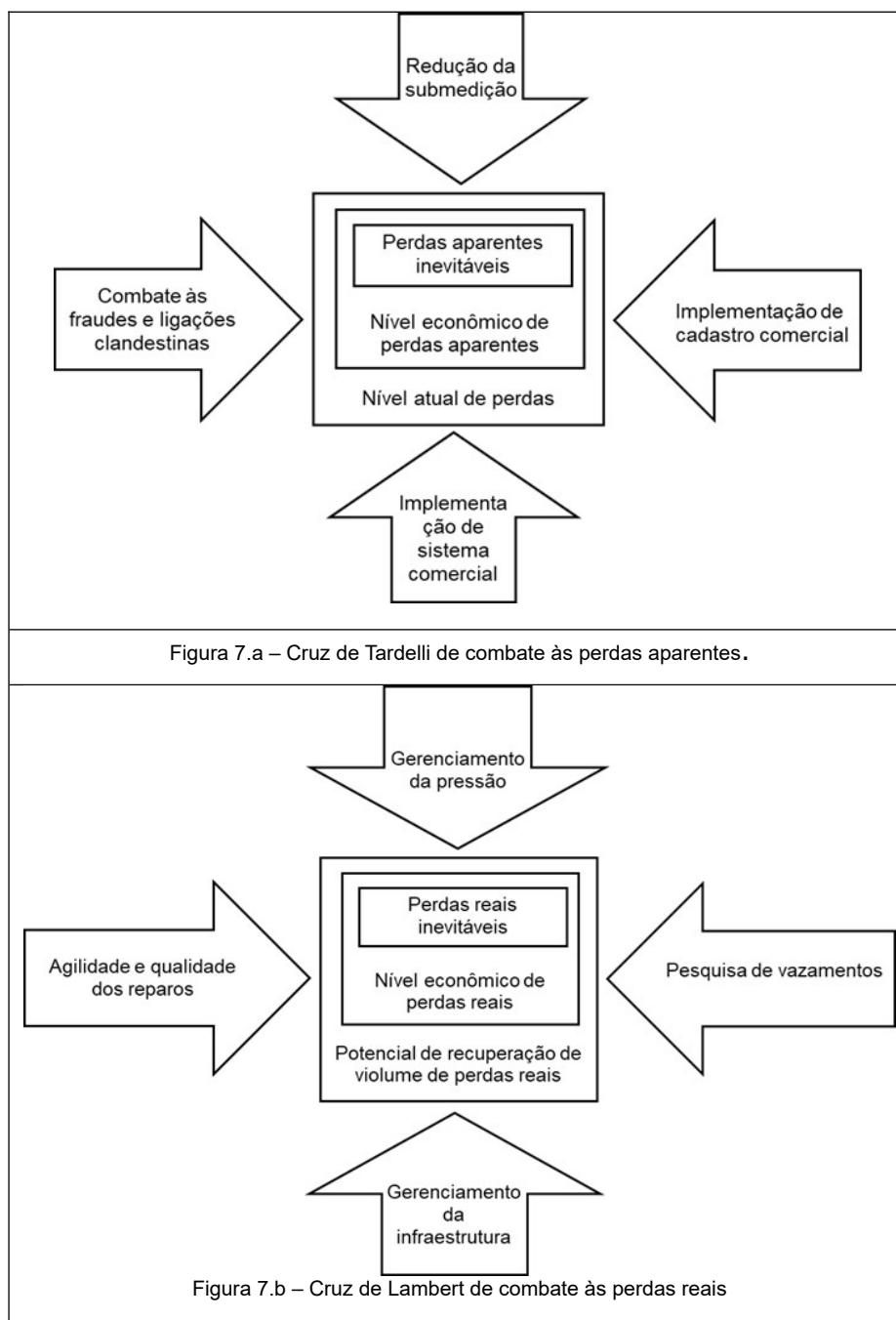
Medida	Descrição
Automação Operacional e Controle em Tempo Real	Ampliação da automação e monitoramento, com a implantação do CCO e mais de 300 pontos de monitoramento. Permite o acompanhamento em tempo real, facilitando a correção de vazamentos e desperdícios, e reduzindo as perdas reais.
Implantação do Sistema de Informações Geográficas (GISCOMP)	Modernização do cadastro técnico e comercial utilizando o GISCOMP, melhorando o planejamento e reduzindo falhas operacionais.
Setorização e Renovação da Infraestrutura	Setorização da rede e renovação de infraestruturas de redes e ramais, criando distritos que facilitam a gestão e identificação de áreas problemáticas, direcionando intervenções específicas.
Expansão das Equipes de Manutenção	Ampliação das equipes para detecção e correção rápida de vazamentos, melhorando a eficiência e reduzindo desperdícios de água.
Contrato de Performance Comercial	Foco em melhorar a medição e faturamento, minimizando perdas relacionadas a fraudes, erros de leitura e imprecisões nos medidores.

Fonte: Adaptado do BI Portal Cooperação, 2024.

Os resultados observados nesse estudo para os índices de perdas e indicadores de performance do DMC 27, foram semelhantes aos observados por Tito (2023) para o DMC 39. Para ele, o resultado sugere que o distrito pode não estar totalmente estanque, o que compromete a precisão das intervenções e a eficiência das ações. Nesse sentido, observa-se que apesar dos esforços para a implementação de distritos e implantação de novas tecnologias para um melhor gerenciamento, o resultado das perdas demonstra a persistência do problema e a complexidade para reduzi-las.

Nesse sentido, observa-se que as ações desenvolvidas pela organização foram baseadas nas componentes da Cruz de Tardelli, Figura 7.a, e Cruz de Lambert, Figura 7.b, de modo a atacar fatores-chave para a redução das perdas com foco na recuperação dos volumes potenciais, conforme recomendado por (Milhoratti *et al.* (2016). Apesar desses esforços, da implementação de distritos e da implantação de novas tecnologias para um melhor gerenciamento, o resultado das perdas demonstra a persistência do problema e a complexidade para reduzi-las.

Figura 7 – Representação das Cruzes de Tardelli e Lambert



Fonte: Adaptada de AESABESP, 2019, p. 2.

4 CONCLUSÕES

A análise das perdas de água pelos métodos *Top x Down* e *Bottom x Up* no DMC 27 forneceu um panorama detalhado das condições de operação e de gestão do distrito. A precisão do balanço hídrico *Top x Down* depende da qualidade e da disponibilidade dos dados disponíveis, o que influencia na confiabilidade do resultado obtido. As ações de ampliação de macromedidores e de micromedidores, além da manutenção preventiva de hidrômetros,

mostraram resultados promissores, mas o desempenho recente indica a necessidade de ajustes.

Nesse sentido, vale destacar que o DMC 27 não atende às recomendações da IWA quanto ao número de ligações, que é de 500 a 3000 em áreas urbanas, o que pode impactar a efetividade das estratégias adotadas e reforça a importância de adequações para melhorar a gestão das perdas de água. A redução das perdas de água exige mais uma estratégia organizacional consolidada, que priorize a eficiência hídrica, com ações sistemáticas de monitoramento, análise de indicadores e adaptação de estratégias. A substituição de redes antigas é uma medida importante para reduzir vazamentos e melhorar a eficiência do sistema.

Este estudo reforça a relevância da gestão eficiente das perdas de água, especialmente em regiões com escassez hídrica, como Pernambuco. As perdas reais e aparentes comprometem a sustentabilidade ambiental e econômica dos sistemas de abastecimento, tornando essencial a adoção de estratégias eficazes para sua redução. Além disso, foi possível identificar a dinâmica das perdas de água no DMC 27 e avaliar a aplicabilidade dos métodos Top x Down e Bottom x Up, evidenciando a importância de abordagens complementares para um diagnóstico preciso.

A investigação também ressaltou a necessidade de medidas estratégicas, como a modernização da infraestrutura e a adequação das ligações conforme as recomendações da IWA, além do redesenho dos DMCs em unidades menores para melhorar o monitoramento e o controle. A validação do estudo foi específica para o DMC 27, o que limita a generalização dos resultados para outras regiões, devido às diferentes condições climáticas, socioeconômicas e de infraestrutura. Como recomendação para novos estudos, sugere-se a coleta simultânea de dados pelo método *Bottom x Up* e pela pesquisa de vazamentos em toda a rede, com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos dados.

REFERÊNCIAS

ABES. Posicionamento e contribuições técnicas: controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. 1. ed. Rio de Janeiro, 2015.

AESBE. Associação Brasileira das Empresas Estaduais De Saneamento. Guia prático para determinação de volume de entrada nos sistemas de abastecimento. **Série Balanço Hídrico**. Brasília, 2015a.

ALMEIDA, S. V. Escassez hídrica: desafios mitigatórios. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2024.

AMIN, M. M.; AMIN, A. H. C.; SÁ, L. S. Água: direito humano ou mercadoria? a busca pela garantia do acesso universal dos recursos hídricos através da privatização do serviço. **Revista Direitos Sociais e Políticas Públicas (UNIFAFIBE)**, v. 10, n. 1, p. 505–545, 2022.

BRASIL, Lei nº 14.026, de 16 de julho de 2020. (2020). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF. Brasil.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: **Diagnósticos Temático Serviços de Água e Esgoto - 2023**. Brasília, dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria nº 490, de 22 de março de 2021. **Metas de redução de perdas de água na distribuição**. Brasília, mar. 2021.

BUENO, N. A. et al. Auxílio ao monitoramento e controle de perdas de água aparentes: estudo de caso aplicado a um município de Santa Catarina. Florianópolis, SC., 2022.

CARVALHO, W; GOMES, M. C.; MARQUES, R. C. Captura da realidade e modelação estatística para gestão digital dos ativos de água: estudo de caso de infraestrutura hidráulica no Brasil. **Revista de Ativos de Engenharia**, 2024.

COELHO, A. C. Reduzindo as perdas em sistema de abastecimento de água. 1. ed. Recife: CCS Gráfica, 2020.

FRITZ, R. T.; GIMENES, J. de C.; FILHO, A. C. de P. Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56408–56416, 2020.

GOUVEIA, E. L; SILVA, M. J. Governança e gestão dos recursos hídricos no estado de Pernambuco. OKARA: **Geografia em Debate**, v. 16, n. 1, 2022.

GUIMARAES, D. C. L. Perda real no sistema de distribuição de água em Vitória-ES: Estudo de caso. Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

LANNA, A. E. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. **Estudos avançados, SciELO**. Brasil, v. 22, p. 113–130, 2008

MACEDO, K. G.; FRATA, G. A.; COLEN, A. G. N.; BUENO, M. P.; DE CAMPOS COLETI, J.; ROQUE, A. S. Análise do sexto objetivo da Agenda Global 2030 e o Marco Legal do Saneamento Básico: estudo documental. 2023.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, 2008.

MOLL, A. C. B. Nível econômico de perdas em sistemas de abastecimento de água por distrito de medição e controle. 2019.

MOTTA, R. G. Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2010.

NETO, H. F. d. C. et al. A tragédia da hemodiálise 12 anos depois: poderia ela ser evitada? Tese (Doutorado) — **Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães**, 2011.

PAGANINI, W. da S.; BOCCHIGLIERI, M. M. O novo marco legal do saneamento: universalização e saúde pública. **Revista USP**, n. 128, p. 45–60, 2021.

PIERRI, A. C. Implantação de ações para controle e reduções das perdas na distribuição do distrito de Bueno de Andrada, Araraquara–SP. 2023.

SACHILOMBO, F. S. R. Smart Frontend para detecção de perdas de água em rede de abastecimento. Universidade de Aveiro (Portugal), 2024.

SOARES, S. C.; SIGNOR, A. How much Water an asset for all: Interfaces development and sustainability. **Research, Society and Development**, 2021 DOI: 10.33448/rsd-v10i9.17728.

TARDELLI, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, 2015.

TITO, G. B. Localização e detecção de vazamentos em um sistema de distribuição de água. UFPE, 2023.

TOMAZ, P. Economia de Água para Empresas e Residências. São Paulo: **Navegar Editora**, 2001.

TSUTIYA, M. T. Concepção de sistemas de abastecimento de água. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo, 2006.

VICENTINI, L. P. Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água. 2012.