

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA

Desenvolvimento de protocolo tecnológico para melhoria no controle de perdas de água para aplicação em sistemas de abastecimento de água de médio porte

Felipe Pires Nogueira

Itajubá, 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA

Felipe Pires Nogueira

Desenvolvimento de protocolo tecnológico para melhoria no controle de perdas de água para aplicação em sistemas de abastecimento de água de médio porte

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Hídrica.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

Itajubá, Agosto de 2023

## RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água são estruturas complexas compostas basicamente de captação de água, adução, tratamento, reservação e distribuição, esta última formada por redes de distribuição de água. As perdas reais e aparentes ocorrem ao longo de toda a estrutura, com destaque as redes de distribuição de água que devido a quantidade de conexões provocam as maiores perdas. Alguns procedimentos e protocolos são feitos no sentido de mitigar o problema, mas estes podem ser aprimorados. Nesta direção o objetivo deste trabalho é de propor um protocolo para auxiliar no controle de perdas em sistemas de distribuição de água, sendo considerado um sistema fictício de médio porte. Para esta finalidade serão vencidas as etapas em síntese de: diagnostico do sistema e coligação de dados, avaliação de metodologias existentes e proposição de protocolo para esta finalidade. Os resultados demonstram que o protocolo tem um potencial de contribuição importante para melhorar a eficiência hídrica e energética em sistemas hídricos, como é o caso das redes de distribuição de água.

**Palavras Chave:** Sistema de distribuição de água, Perdas, Eficiência Hídrica e Energética

## **ABSTRACT**

Water supply systems are complex structures composed mainly by water captation, adduction, treatment, reservation and distribution, this last one formed by water distribution networks. The real and apparent losses occurs all along the structure, with emphasis on the distribution networks by its ammount of connexions that leads to higher losses. Some procedurs and protocols are made to mitigate the problem, but it can be improved. The objective of this research is the propose of a protocol to auxiliare in the control of losses in water distribution systems, to be applied in a ficticious midsize system. For this purpose, steps will be taken as: diagnosis of the system and coliation of data, evaluation of existents methodologys and proposition of a protocol to this goal. The results shows that the protocol has a major potencial to contribute to improve de water and energy efficiency in water systems, which is the case of water supply systems.

**Key-words:** water distribution systems, losses, water and energy efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Configuração de um sistema de abastecimento de água.....	3
Figura 2 - Definição de perdas reais e aparentes.....	5
Figura 3 – Tipos de vazamentos e ações de combate às perdas reais.....	5
Figura 4 - Tipos de perdas aparentes e ações de combate.....	6
Figura 5 - Balanço Hídrico segundo padrão da IWA.....	10
Figura 6 - Componentes do balanço hídrico.....	11
Figura 7 - Análise de pressões durante a demanda em horário de pico.....	16
Figura 8 – Metodologia para integração de simulações hidráulicas e SIG aplicada por Freitas et al (2022).....	18
Figura 9 - Mapa de pressões no cenário C.....	20
Figura 10 - Separação da rede em distritos de medição.....	22
Figura 11 - Fluxograma de atividades do MASPP I.....	23
Figura 12 - Ações implementadas pelo MASPP II.....	25
Figura 13 - Estrutura do programa Com+Água.2.....	27
Figura 14 - Metodologia da CAESB para controle de perdas.....	31
Figura 15 - Hierarquia das ações tecnológicas estruturais e não estruturais.....	32
Figura 16 - Hierarquia das ações metodológicas e humanas estruturais e não estruturais do MASPP.....	33
Figura 17 - Metodologia da FUNASA para combate às perdas.....	34
Figura 18 - Ciclo de controle industrial associado ao ciclo do PDCA.....	35
Figura 19 - Fluxograma das etapas da proposição do protocolo.....	36
Figura 20 - Etapa de diagnóstico do protocolo de controle de perdas.....	42
Figura 21 - Fluxograma de medidas de gestão e controle de perdas.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGESAN – Agência Reguladora Intermunicipal do Saneamento do Rio Grande do Sul

AMI – *Advanced Metering Infrastructure* (Infraestrutura Avançada de Medição)

CAESB – Companhia de Água e Esgotos de Brasília

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

DMA – *Districted Metered Areas* (Distritos de medição)

EMBASA – Empresa Baiana de Saneamento S.A.

EPANET – *software* de modelagem hidráulica de sistemas de abastecimento

FND – Fator noite/dia

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

$hf_{total}$  – valor referente à perda de carga hidráulica total da rede

$i$  – trecho (tubulação em análise)

$i_{ED}$  – índice de energia dissipada da rede

$I_{EE}$  – indicador de eficiência energética da rede

$I_{ED}$  referência – índice de energia dissipada da rede para o cenário do projeto original da rede

$I_{ED}$  cenário – índice de energia dissipada da rede para o cenário em que se deseja aferir a eficiência energética

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPDt – Índice de perdas na distribuição – total

ILI - Infrastructure Leakage Index (Índice de Vazamento de Infra Estrutura)

IWA – International Water Association (Associação Internacional da Água)

$L_{total}$  – comprimento total da rede

MASPP – Método de Análise e Solução de Problemas de Perdas de Água

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

MMN – Método dos Mínimos Noturnos

$n$  – quantidade de trechos (tubulações) da rede

$N1$  – Fator adimensional, correlaciona pressão e vazamento variando de acordo com o tipo de material da tubulação

$p_1/\gamma$  – parcela de energia de pressão do nó de montante do trecho

$p_2/\gamma$  – parcela de energia de pressão do nó de jusante do trecho

PDCA – *Plan-Do-Check-Act* (Planejar-Fazer-Verificar-Agir)

$P_i$  24h – Pressões horárias ao longo de 24h

$P_{média}$  – Pressão média da rede

$P_{mn}$  – Pressão horário mínimo noturno

PRP – Programa de Redução de Perdas

$Q_{perdas}$  – Vazão de perdas reais

$Q_{mn}$  – Vazão mínima noturna

$Q_l$  – Vazão legítima de consumo noturno

SAA – Sistema de abastecimento de água

Sabesp – Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo

SCADA - *Supervisory control and data acquisition*

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SNIRH – Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

SNS – Secretaria Nacional de Saneamento

VD – volume disponibilizado

VRP – Válvula Redutora de Pressão

VU – volume utilizado

WSAA – Water Services Association of Australia

$z_1$  e  $z_2$  = cotas topográficas dos nós de montante e jusante do trecho, respectivamente

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Hipótese.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Sistemas de distribuição de água.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Introdução as Perdas em sistemas de abastecimento de água .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Metodologias para estimativa de perdas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Ferramentas e Softwares de análise para controle de perdas .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5. Protocolos tecnológicos e procedimentos para controle de perdas .....</b>	<b>22</b>
<b>3. Metodologia e descrição de protocolo.....</b>	<b>36</b>
<b>4. Resultado e Discussões .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. Análise comparativa entre protocolos.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2. Protocolo Inicial – Diagnóstico .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3. Protocolo Final – Medidas de Controle .....</b>	<b>43</b>
<b>5. Conclusões e Recomendações.....</b>	<b>47</b>
<b>Referências .....</b>	<b>48</b>



## 1. Introdução

Com o crescimento contínuo da população urbana, esperava-se que o consumo de energia e água iria acompanhar o crescimento, porém a disponibilidade hídrica segue o sentido inverso, tornando crises hídricas cada vez mais frequentes.

A complexidade do abastecimento de água à população, geralmente associado com má gestão, condições geográficas, ou até furtos, leva a diversos problemas em sistemas de tratamento de água. Dessa forma, torna-se útil promover o desenvolvimento científico nessa área, beneficiando pesquisadores e gerentes desses sistemas (ALMEIDA et al, 2021).

Um dos principais problemas em sistemas de abastecimento de água são as perdas de água, que podem ser divididas em perdas aparentes, causada por erros comerciais, hidrômetros descalibrados e consumo não autorizado, e perdas reais, causadas por vazamentos em juntas, conexões e furos (SANZ et al., apud SILVA et al 2020).

Em 2020 o índice de perdas nos sistemas de distribuição de água no Brasil foi de 40,1%, ou seja, de toda a água captada para abastecimento, cerca de dois quintos não foi contabilizada. Entendendo que não há sistema de distribuição sem perdas de água, o planejamento deve buscar a maior redução possível, quanto mais eficiente o sistema, menor o índice de perdas (SNIS, 2021).

Ao operar um sistema de distribuição, a otimização busca reduzir os custos operacionais como a ativação de bombas, tratamento e distribuição de água para suprir a demanda (SOLER et al., apud SILVA et al., 2020).

Em 2009, estimava-se que cerca de 3% do consumo nacional de eletricidade é oriundo dos serviços de saneamento como abastecimento de água e esgotamento sanitário, sendo em sua maioria destinado ao uso de motores e bombas (GONÇALVES, 2009).

Buscando aumentar a eficiência de sistemas, podem-se empregar várias ferramentas, entre elas as computacionais, que permitem utilizar modelos para simular e obter parâmetros sobre o funcionamento da rede (FREITAS et al, 2022).

O comprometimento no controle e gestão das perdas se faz necessário por três ópticas, sendo uma delas a contratual, na qual fica estabelecido em contrato com a concessionária a necessidade de atingir metas quanto aos índices de perdas, a econômica, na qual a concessionária reduzir os custos de operação permite otimizar os resultados financeiros, e a ótica da imagem da companhia, tendo em vista que crises hídricas e conflitos pela água se

tornam mais frequentes e o tema é cada vez mais debatido na sociedade e meios de comunicação, é salutar à empresa que tenha uma imagem consolidada na contribuição com o meio ambiente (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018).

Dessa forma, a ideia do trabalho é buscar alternativas para melhoria da eficiência dos sistemas de abastecimento, auxiliando os gestores quanto às tomadas de decisão relativas às perdas, promovendo retornos econômicos, ambientais e sociais para a comunidade.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um protocolo tecnológico para melhoria no controle de perdas em sistemas reais de abastecimento de água.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Visando alcançar o objetivo geral é necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer uma análise contextualizada de diversos protocolos encontrados na literatura;
- Identificar os principais pontos dos protocolos a serem melhorados relativos a perdas do sistema;
- Avaliar os métodos e protocolos adequados para o sistema.

## **1.2. Hipótese**

Que a aplicação de um protocolo metodológico em um sistema de abastecimento de água gere melhorias na eficiência do abastecimento, contribuindo para a redução de perdas.

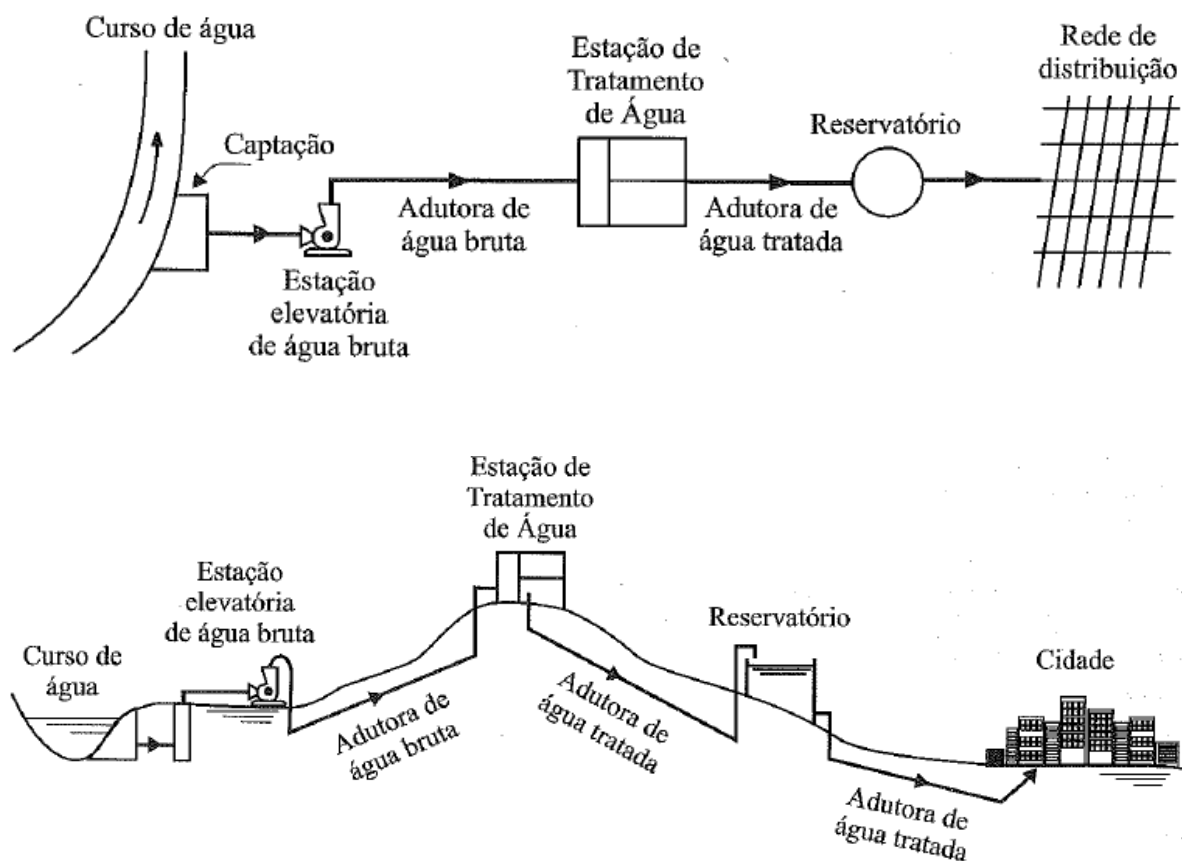
## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Sistemas de distribuição de água

O sistema de distribuição de água é um conjunto de equipamentos como tubulações, acessórios, reservatórios, bombas, que tem como finalidade atender a população quanto a demanda de abastecimento de água em qualidade e quantidades suficientes (PORTO, 2006).

Um sistema de abastecimento de água (SAA) normalmente é composto por uma captação de água bruta, uma estação de bombeamento (elevatória) de água bruta, uma estação de tratamento de água, reservatórios e as redes que interligam os componentes, podendo ser adutoras e rede distribuição, conforme Figura 1 (GOULART, 2015).

Figura 1 - Configuração de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: (TSUTIYA apud GOULART, 2015)

## 2.2. Introdução as Perdas em sistemas de abastecimento de água

Devido as complexidades do abastecimento de água à população diversos problemas são encontrados em sistemas de abastecimento, normalmente associados com má gestão, desafios geográficos e até furtos (ALMEIDA et al., 2021).

Para Bezerra e Cheung (apud Giffoni 2021) a perda de água pode ser definida como a quantidade de água prevista para a realização de um ou mais usos, mas que é perdida durante o processo seja por deficiências técnicas, operacionais e/ou econômicas.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020) as perdas de água no Brasil são de 40,1%, enquanto na região sudeste, onde se insere o local de estudo, as perdas representam 38,1%, conforme Tabela 1.

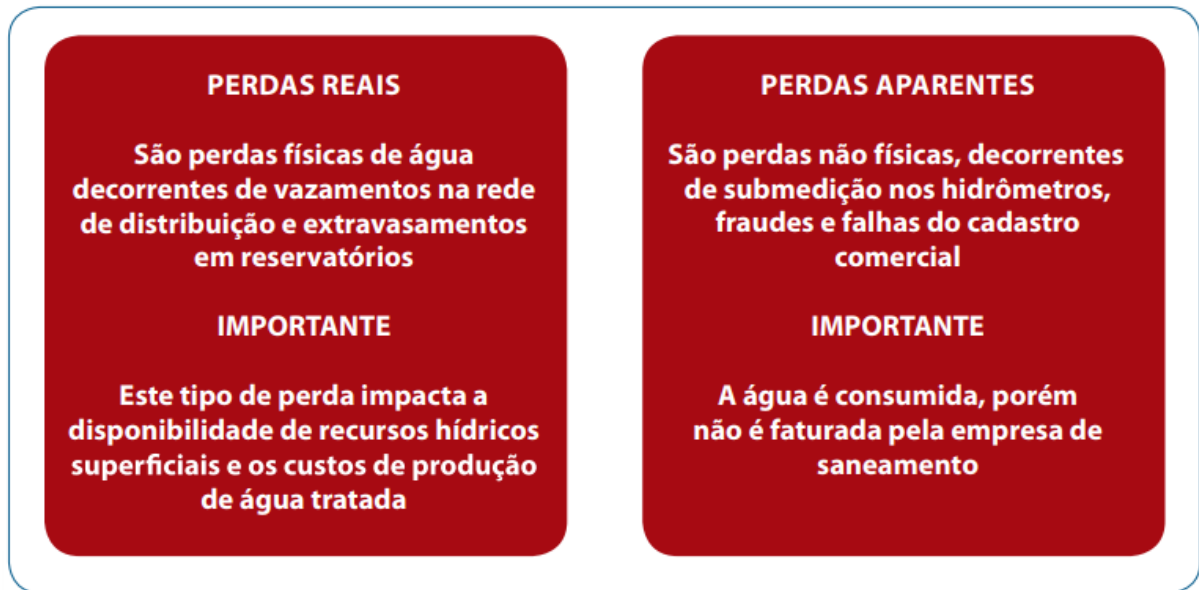
Tabela 1 - Índice de perdas na distribuição de água nos municípios integrantes do SNIS 2020

<b>Região</b>	<b>Perdas (%)</b>
Norte	51,2
Nordeste	46,3
Sudeste	38,1
Sul	36,7
Centro-Oeste	34,2
<b>Brasil</b>	<b>40,1</b>

Fonte: adaptado de SNIS, 2021.

Segundo Heller e Pádua (2016) as perdas de água podem ser divididas em perdas reais, que correspondem aos volumes decorrentes de vazamentos e extravasamentos em unidades do sistema, e perdas aparentes, que são os volumes oriundos de ligações clandestinas e por *by-pass* irregular no ramal de ligações, mais os volumes não contabilizados por hidrômetros parados, submedições, fraudes, erros de leitura e similares. A Figura 2 explicita as definições de perdas reais e aparentes.

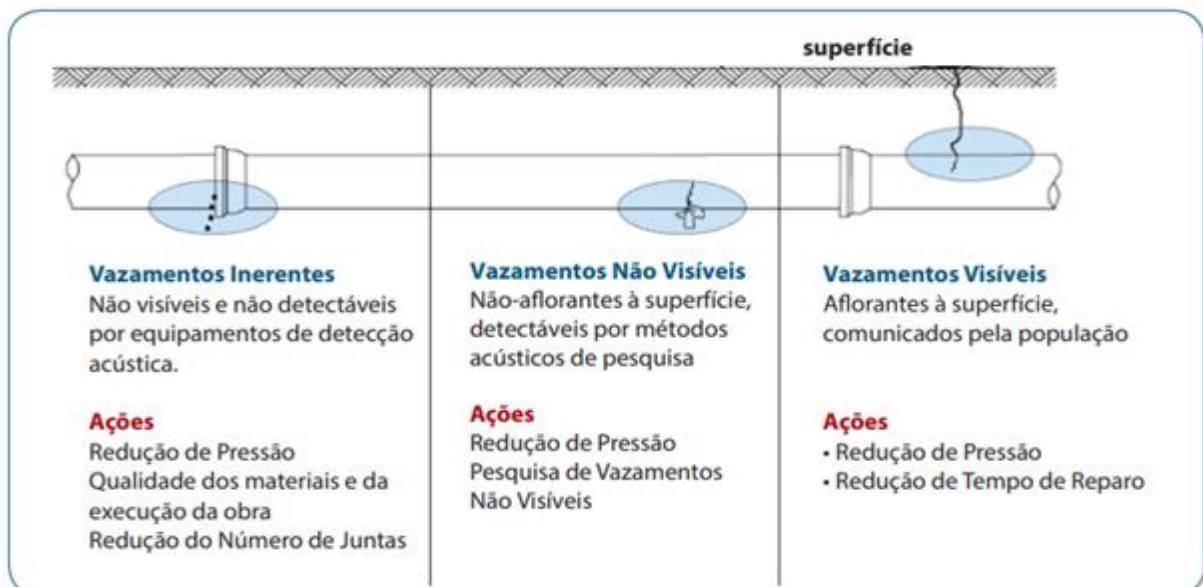
Figura 2 - Definição de perdas reais e aparentes.



Fonte: (FUNASA, 2014)

Para controle e redução dos índices de perdas reais, Metalo (apud Fortes, 2016) cita 4 ações que, se, executadas simultaneamente, pode-se atingir o nível máximo de eficiência das redes, sendo essas ações: controle de pressão, gerenciamento de infraestrutura, agilidade e qualidade dos reparos e controle ativo dos vazamentos. A Figura 3 demonstra os principais tipos de vazamentos, principal responsável pelas perdas reais.

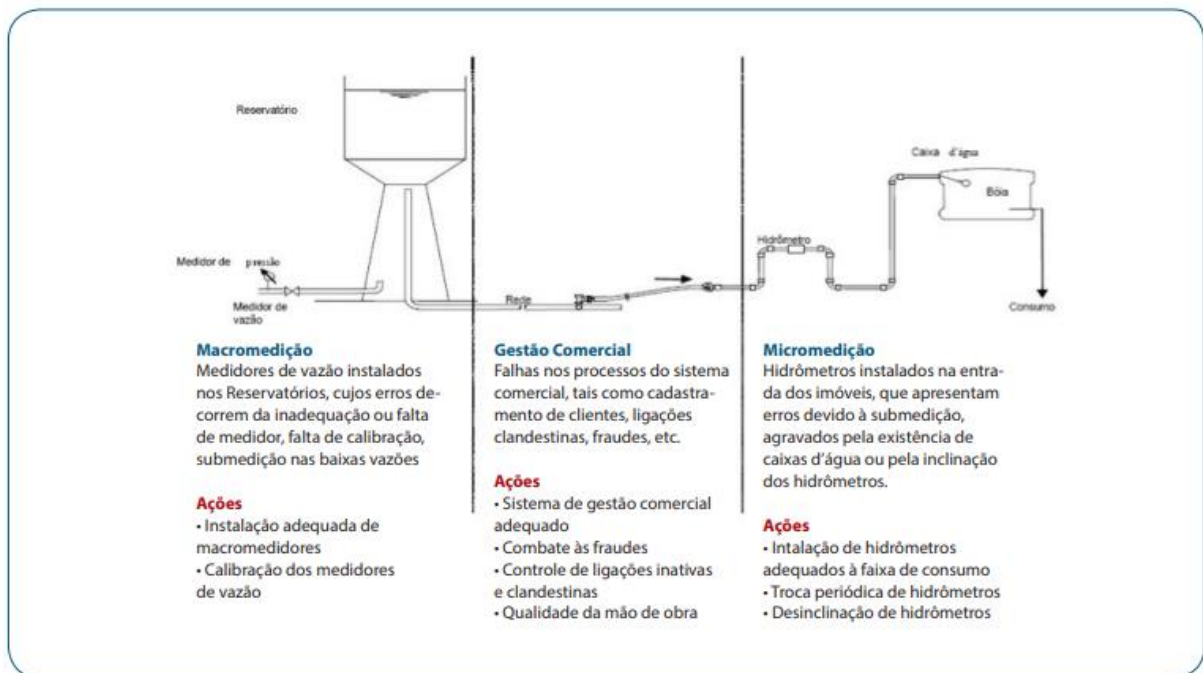
Figura 3 – Tipos de vazamentos e ações de combate às perdas reais.



Fonte: (FUNASA, 2014)

Conforme ilustrado na Figura 4, embora muitas vezes os operadores do sistema dispõem de ferramentas para a medição, não conseguem explorá-las adequadamente, às vezes por um medidor não desempenhar sua função corretamente ou mesmo desempenhando e sua leitura não é recolhida, sendo necessário trabalhar com estimativas, reduzindo a precisão da contabilização dos volumes de produção e comercialização (FORTES, 2016).

Figura 4 - Tipos de perdas aparentes e ações de combate.



Fonte: (FUNASA, 2014)

Para Ramos et al (2020) as vantagens de um sistema inteligente focado na conservação de água e energia permite em alguns casos uma economia para o consumidor de até 30% na conta.

Ao realizar simulações em um sistema fictício de abastecimento de água, Silva et al., (2020) comprovou que as simulações representam uma ferramenta importante na otimização da operação de um sistema, mas ressalta a importância de se validar as ferramentas em sistemas reais e sobre circunstâncias variadas.

O acompanhamento e controle das pressões em sistemas de abastecimento de água tem se apresentado com uma das principais ferramentas técnicas para aumento da eficiência hidráulica e energética nesses sistemas. O monitoramento das pressões através de dispositivos de coleta de dados nas redes de abastecimento de água é parte integrante da automação do sistema e peça fundamental na tomada de decisão (BEREGULA e SILVA, 2020).

Um sistema inteligente visando conservação hídrica e energética segundo Ramos et al., (2020) compreende as seguintes medidas:

- Tubulações inteligentes e sensores: tubos desenvolvidos com capacidade de monitoramento adaptável para sensores, permitindo o monitoramento em tempo real sem alteração das condições hidráulicas do sistema;
- Medições inteligentes de água: medidores capazes de armazenar e transmitir dados de consumo com uma certa frequência. A gestão das informações exige uma infraestrutura de medição avançada (*advanced metering infrastructure – AMI*) e a partir disso as companhias podem melhorar a eficiência hidráulica e energética, permitindo o controle de vazamentos e de conexões ilegais;
- Sistemas de Informações Geográficas (SIG): são partes importantes na gestão de abastecimento de água, pois permitem uma visualização espacial do sistema e de seus componentes, permitindo a integração com sistemas de informação georreferenciados;
- *Cloud computing and supervisory control and data acquisition (SCADA)*: se refere ao uso de memória, capacidades de armazenamento e cálculos de computadores e servidores compartilhados e interligados via internet;
- Modelos, ferramentas de otimização e sistemas de suporte às decisões: a implantação de uma estrutura para medição da performance baseado em uma série de indicadores, aplicação de dados e interfaces de suporte de decisões em órgãos de gestão permitem às partes interessadas avaliar, criar confiança e monitorar os avanços. O conhecimento de ferramentas de previsão de demanda em curto prazo são cruciais no desenvolvimento de modelos e decisões positivas em tempo real a serem implantados em sistemas inteligentes de abastecimento de água.

Azevedo (2020) elenca diversos fatores que influenciam na análise de complexidade dos sistemas de abastecimento de água, dividindo-os em fatores relacionados à engenharia, ao grande número de consumidores em uma mesma área e à grande extensão das redes de distribuição. Entre os fatores podemos destacar: pressão na rede de abastecimento, vazamento não detectados, mudanças climáticas, variações no consumo de água, consumos não autorizados, entre outros.

## 2.3. Metodologias para estimativa de perdas

Existem diversos métodos e ferramentas para estimar as perdas em um sistema de abastecimento, os principais citados na literatura consistem no método do balanço hídrico e no método dos mínimos noturnos.

Em levantamento realizado por Azevedo (2020) foram encontrados 36 métodos e ferramentas usadas para controle de perdas, sendo 97,2% voltados para o controle de perdas reais e apenas 38,9% para perdas aparentes, sendo que 36,1% cobrem os dois tipos de perdas. A Tabela 3 apresenta os métodos mais frequentes.

Tabela 2 - Métodos para controle de perdas

Método	Definição	Perdas Reais	Perdas Aparentes	Fatores de complexidade
<b>Distritos de Medição</b>	Divisão do macro sistema em pequenas áreas com medição de vazão, visando reduzir a complexidade da rede e facilitar o manejo das pressões	x	x	Redes de distribuição extensivas, vazamentos não detectados
<b>Vazões Mínimas Noturnas</b>	As vazões mínimas noturnas, normalmente entre 02:00 e 04:00, é o período mais significativo na detecção de vazamentos. Nesse período o consumo dos usuários é mínimo e os vazamentos representam sua maior taxa no volume total medido.	x	x	Erros na medição de água, pressão da água e vazamentos não detectados
<b>Algoritmos Genéticos</b>	Técnica não determinística de busca, otimização e aprendizagem que manipula um conjunto de possíveis soluções, criadas para imitar processos encontrados na evolução natural.	x	x	Erros na medição de água, atributos de engenharia, condições e infraestrutura dos sistemas de abastecimento.
<b>Válvulas Redutoras de Pressão</b>	O volume de água perdido nas redes pode ser reduzido minimizando a pressão através do dimensionamento e posicionamento correto de válvulas redutoras de pressão.	x	x	Vazamentos não detectados, pressões nos sistemas de abastecimento.
<b>Séries Temporais</b>	Modelos nos quais são calculados parâmetros que podem ser usados para prever a demanda de água a curto e longo prazo.	x	x	Diferentes categorias de consumidores, variações no consumo de água, consumos não autorizados, abastecimento intermitente.
<b>Balanço Hídrico</b>	Método proposto pela International Water Association (IWA) para padronizar o controle de perdas de água. O método inclui 170 indicadores de performance baseados em 232 variáveis que devem ser medidas regularmente e monitoradas.	x	x	Consumos não autorizados de água, pressões de água, variações no consumo de água.



<b>Processo de Análise Hierárquica</b>	Um método de tomada de decisões multi-atributos que usa comparação de pares com análises numéricas	x	Diversidade dos critérios para o controle de perdas e de demanda.
<b>Implantação de Sensores para Localização de Vazamentos</b>	Método que consiste no uso de funções de custo benefício para prever o melhor posicionamento de sensores para detectar vazamentos locais, baseado no número de sensores assim como na quantidade de incertezas gerais e de demanda.	x	Vazamentos não detectados.
<b>Substituição de Redes</b>	Essa abordagem admite que a implantação adequada de redes novas tem uma taxa de vazamento próxima de zero.	x	Vazamentos não detectados, infraestrutura e condições do sistema de abastecimento.

Fonte: adaptado de (Azevedo, 2020)

### 2.3.1. Balanço Hídrico

O balanço hídrico equaciona as entradas e saídas de água em um sistema, mostrando a diferença da água que entrou no sistema desde a captação até o volume que de fato é utilizado pelos contribuintes. O método, padronizado pelo IWA, consiste em dividir os volumes em consumos autorizados e as perdas de água. O consumo autorizado envolve o volume medido nos hidrômetros e consumos estimados e compõem o volume de água faturada no sistema. Os consumos autorizados que deixam de ser faturados (operação do sistema, combate a incêndios, entre outros) somados às perdas reais (vazamentos) e às perdas aparentes (cadastros falhos, fraudes, erros de medição) integram o volume de água não faturada (SILVA, 2019).

Os consumos que compõe esse método estão expostos na Figura 5.

Figura 5 - Balanço Hídrico segundo padrão da IWA.

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água faturada	
			Consumo faturado não medido (estimado)		
	Consumo autorizado não faturado	Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (uso próprio, caminhão pipa, entre outros)	Água não faturada	
			Consumo não faturado não medido		
	Perdas de água	Perdas aparentes			Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)
					Erros de medição (macro e micromedição)
		Perdas Reais (Físicas)			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios (de adução e/ou distribuição)
					Vazamentos nas adutoras e/ou redes (de distribuição)
			Vazamentos nos ramais até o ponto de medição do cliente		

Fonte: (Internacional Water Association, 2004)

O procedimento estabelecido pelo IWA para controle de perdas envolve uma caracterização do sistema por meio de indicadores de desempenho, divididos em seis grupos: indicadores de recursos hídricos, de recursos humanos, infra-estruturais, operacionais, de qualidade de serviço e econômico-financeiros. Foram estabelecidos 158 indicadores, porém devido à dificuldade de implementação do sistema completo de indicadores de desempenho, destacam-se 28 como prioritários (ALEGRE et al., 2004).

Os indicadores de desempenho já foram usados em milhares de sistemas de abastecimento no mundo ao longo das últimas duas décadas. Diversos países obtiveram resultados significantes na gestão de perdas de água utilizando os indicadores de performance da IWA, incluindo Dinamarca, Malta, Estados Unidos, Áustria e Austrália (RADIVOJEVIC et al., 2020).

Segundo Alegre et al., (2004) a metodologia da IWA consiste em um processo norteado pela Figura 6, cujas etapas são descritas.

Figura 6 - Componentes do balanço hídrico.

A	B	C	D	E	
Água entrada no sistema [m <sup>3</sup> /ano]	Consumo autorizado [m <sup>3</sup> /ano]	Consumo autorizado facturado [m <sup>3</sup> /ano]	Consumo facturado medido (Incluindo água exportada) [m <sup>3</sup> /ano]	Água facturada [m <sup>3</sup> /ano]	
			Consumo facturado não medido [m <sup>3</sup> /ano]		
	Perdas de água [m <sup>3</sup> /ano]	Consumo autorizado não facturado [m <sup>3</sup> /ano]		Consumo não facturado medido [m <sup>3</sup> /ano]	Água não facturada (perdas comerciais) [m <sup>3</sup> /ano]
				Consumo não facturado não medido [m <sup>3</sup> /ano]	
		Perdas aparentes [m <sup>3</sup> /ano]		Consumo não autorizado [m <sup>3</sup> /ano]	
				Perdas de água por erros de medição [m <sup>3</sup> /ano]	
		Perdas reais [m <sup>3</sup> /ano]		Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição [m <sup>3</sup> /ano]	
				Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [m <sup>3</sup> /ano]	
		Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) [m <sup>3</sup> /ano]			

Fonte: (Alegre et al., 2004)

**Passo 1:** Determinar o volume de água entrada no sistema e informar na coluna A;

**Passo 2:** Determinar o consumo faturado, medido e o consumo faturado não medido na coluna D; inserir o total destes como consumo autorizado faturado (Coluna C) e como água facturada (Coluna E);

**Passo 3:** Calcular o volume de água não facturada (Coluna E) subtraindo a água fatura (Coluna E) à água que entra no sistema (Coluna A);

**Passo 4:** Estabelecer o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido na Coluna D; informar o total de consumo não autorizado na Coluna C;

**Passo 5:** Somar os volumes referentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado da Coluna C; informar o resultado como consumo autorizado (Coluna B);

**Passo 6:** Calcular as perdas de água (Coluna B) a partir da diferença entre a água que entra no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B);

**Passo 7:** Avaliar, segundo os métodos disponíveis mais adequados, as parcelas de uso não autorizado e dos erros de medição (Coluna D), somar e informar o resultado em perdas aparentes (Coluna C);

**Passo 8:** Calcular as perdas reais (Coluna C) através da subtração das perdas aparentes (Coluna C) das perdas de água (Coluna C);

**Passo 9:** De modo a analisar a parcela das perdas reais (D), aplicar os métodos disponíveis mais adequados, como método dos mínimos noturnos, modelagem hidráulica, etc., e comparar com o resultado das perdas reais encontrado anteriormente (Coluna C).

### 2.3.2. Método das Vazões Mínimas Noturnas (MMN)

Esse método, o mais popular na determinação de perdas reais em sistemas de distribuição, é aplicado normalmente em zonas de medição dos sistemas ou em áreas de manejo de pressão, partindo pressuposto de que a atividade humana durante o final da noite e o início da manhã é mínimo (SERAFEIM et al, 2022).

Segundo Cheung et al., (apud Silva, 2019), a multiplicação das vazões mínimas noturnas pelas 24 horas do dia resultaria numa estimativa dos vazamentos diários. Porém, devido à sensibilidade à pressão pelos vazamentos, é necessário corrigir os volumes através de um fator noite/dia (FND), de modo a evitar a superestimação dos valores perdidos. As perdas reais são o resultado da multiplicação do FND pelas vazões mínimas subtraídas às vazões legítimas desta, como hospitais, indústrias que funcionam durante a madrugada. Dessa forma, as perdas são calculadas conforme a equação 1.

$$Q_{perdas} = (Q_{mn} - Q_l) \times FND \quad (2.1)$$

Onde:

$Q_{perdas}$  = Vazão de perdas reais (m<sup>3</sup>/dia);

$Q_{mn}$  = Vazão mínima noturna (m<sup>3</sup>/h);

$Q_l$  = Vazão legítima de consumo noturno (m<sup>3</sup>/h);

FND = Fator noite/dia (h/dia)

O FND é obtido através do somatório de pressão ao longo do dia dividido pelas pressões durante o horário de consumo mínimo noturno, segundo a equação 2.

$$FND = \sum \left( \frac{P_i 24h}{P_{mn}} \right)^{N1} \quad (2.2)$$

Onde:

$P_i 24h$  = Pressões horárias ao longo de 24h (mca);

$P_{mn}$  = Pressão horário mínimo noturno (mca);

$N1$  = Fator adimensional, correlaciona pressão e vazamento variando de acordo com o tipo de material da tubulação.

Segundo Gonçalves e Lima (2007 apud Silva, 2019) os valores de  $N1$  variam entre 0,5 até 1,5 dependendo do material das tubulações, segundo a Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de  $N1$  de acordo com o material da tubulação.

<b>N1</b>	<b>Características</b>
<b>0,5</b>	Seção do tubo não se altera com vazamentos (ferro fundido e aço).
<b>1,0</b>	Avaliação simplificada (ex.: na redução de 1% na pressão do sistema, haverá redução de 1% no vazamento).
<b>1,15</b>	Condições gerais da rede de distribuição composta de diferentes materiais (ferro fundido, PVC, aço, PEAD, etc.).
<b>1,5</b>	Seção do tubo se altera com vazamentos (ex.: PEAD, PVC).

Fonte: Adaptado de (Gonçalves e Lima apud SILVA, 2007)

## 2.4. Ferramentas e Softwares de análise para controle de perdas

### 2.4.1. Softwares

#### Epanet

O EPANET é um software de uso livre, robusto e eficaz como auxílio ao projetista e ao gestor de redes de distribuição de água. O programa permite a fusão entre rotinas de otimização e de cálculo hidráulico, devido à possibilidade de o EPANET ser integrado a outros programas sendo usado de acordo com a necessidade do usuário (ROCHA et al, 2011).

Candelieri et al (2013) em posse das informações geográficas (SIG) da infraestrutura de um sistema de abastecimento e dos dados de consumo dos clientes do sistema, utilizou o EPANET em busca de um modelo hidráulico adequado a sua pesquisa. Para isso, estabeleceu diferentes cenários com vazamentos na rede. Pensando nos dados que as simulações nesse software lhe ofereciam (pressões nos nós, vazões nos trechos de tubulação, potência de sistemas de bombeamento, entre outros), identificou que os dados principais para simulação de vazamentos são os valores de pressão e vazão nos pontos monitorados.

No EPANET um vazamento (assim como torneiras, sprinklers e sistemas de irrigação) pode ser adicionado no modelo da rede usando o componente “emissor” (*emitter*). A vazão é dada pela equação 2.3 (CANDELIERI, 2013).

$$Q = C \times p^\gamma \quad (2.3)$$

Onde,

Q = vazão do orifício;

C = coeficiente de descarga (depende da geometria do orifício e do material da tubulação, o valor usual para orifícios circulares é 0,5);

p = pressão;

$\gamma$  = expoente de pressão.

Candelieri et al (2013) aplicou um vazamento em cada tubo com diferentes valores de coeficiente de vazão, permitindo após a análise agrupar os cenários de vazamento e estimar coeficiente de descarga (gravidade do vazamento) a partir dos valores de pressão e vazão nos pontos monitorados.

### **Watercad**

Esse software é uma evolução do modelo Cybernet, surgido na década de 1980 e baseado no modelo do EPANET. É o modelo simulador utilizado pela Sabesp. Permite simulações de qualidade de água, possui interface com AutoCAD e SIG, simula custos (BORGES, 2004).

Os resultados da modelação hidráulica obtida com o Watercad, permitem otimizar, gerir e controlar uma distribuição eficiente da água e a gestão dos custos associados (OLAIA apud SANTOS, 2016).

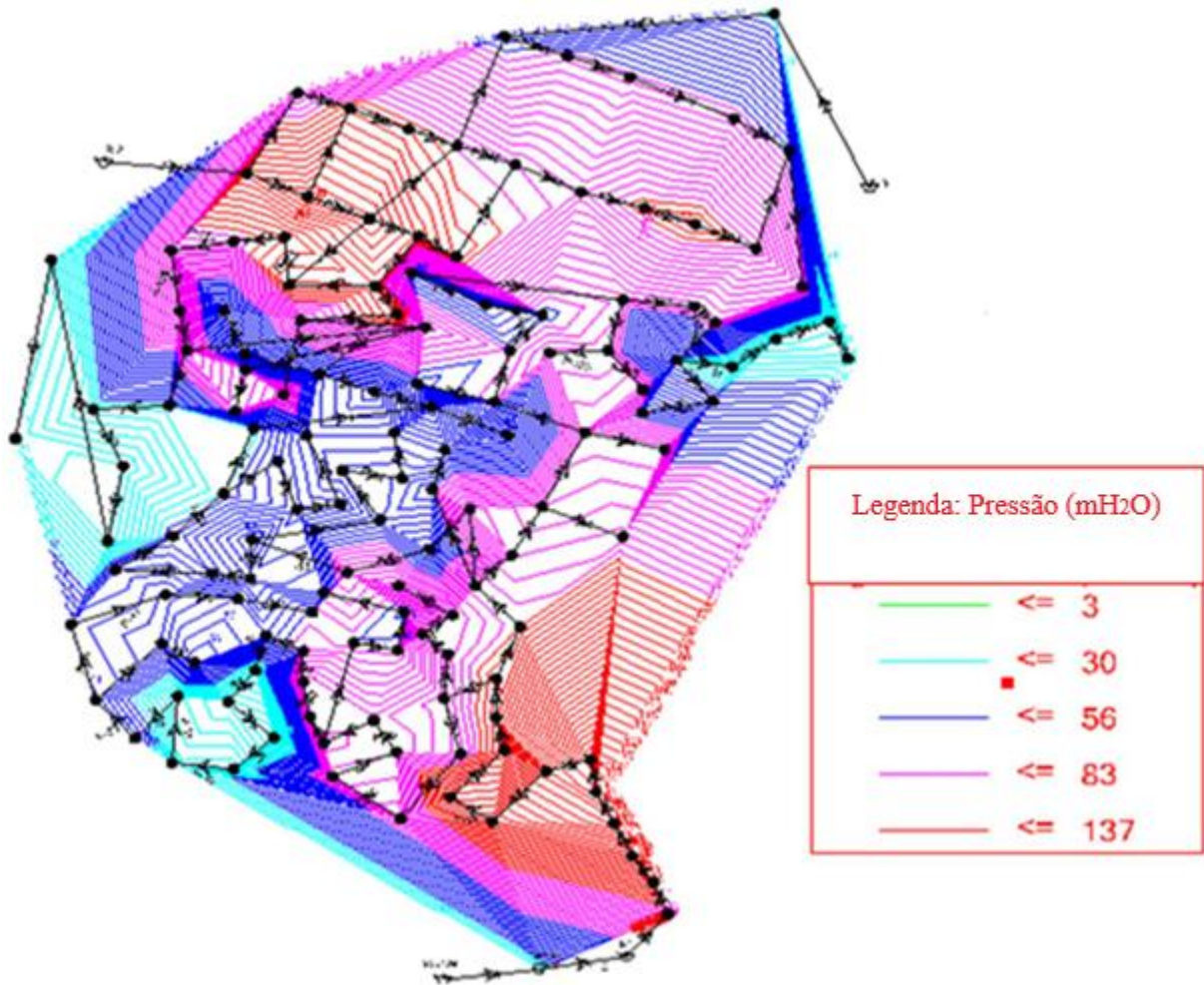
O software foi remodelado e foi lançada uma nova versão sob o nome WaterGEMS.

### **WaterGEMS**

Software com funções semelhantes ao EPANET, desenvolvido pela Bentley. Possui integração com base de dados SIG, calibração automatizada e um módulo focado na detecção de vazamentos (KOWALSKI et al, 2022).

Desta et al (2022) utilizou o software buscando modelar e otimizar as pressões em redes urbanas de distribuição de água. O procedimento foi realizado a partir da inserção dos dados elaborados no Microsoft Excel, configuração inicial das unidades para o sistema internacional, layout da rede, construção do modelo, simulação do modelo, análise por período contínuo e análise de problemas. O modelo foi associado com software de SIG e o resultado da análise de pressão a partir da simulação no WaterGEMS está disposto na Figura 7.

Figura 7 - Análise de pressões durante a demanda em horário de pico.



Fonte: (Desta et al, 2022)

O software conta também com uma ferramenta para divisão automática da área escolhida do sistema de distribuição de água. Esse módulo considera a distribuição espacial das taxas de vazão e estrutura geométrica das redes (diâmetros e localização) (KOWALSKI et al., 2022).

#### 2.4.2. Ferramentas e técnicas usadas para melhoria da eficiência em sistemas de abastecimento de água

##### a) Simulações hidráulicas

A simulação hidráulica de sistemas de abastecimento de água com o uso de modelagem computacional é uma ferramenta muito útil, que se utilizada da forma correta e com o correto equacionamento matemático, permite reproduzir o comportamento real do sistema estudado (NAZARÉ, 2012).



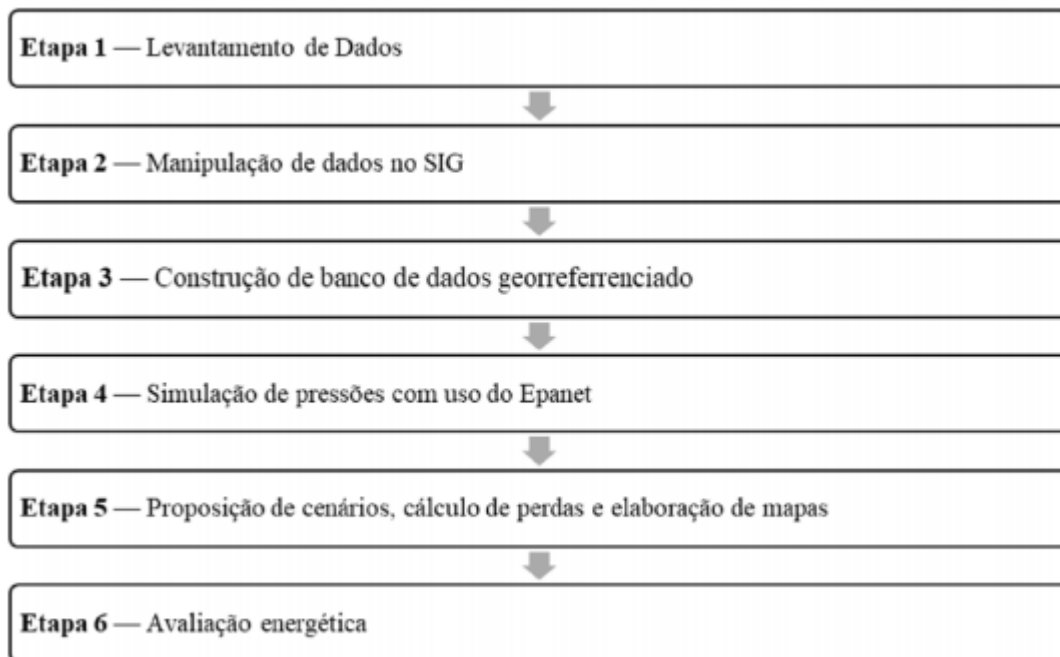
As ferramentas disponíveis para simulações por meio de modelagem são divididas por Borges (2004) em três tipos, são eles:

- Tipo 1: modelos que trazem todos os recursos básicos, permitindo simulações em regime permanente, como o Hidrocad e o Epanet.
- Tipo 2: aqueles que apresentam recursos que permitem a simulação de rede hidráulica por períodos maiores e contam com interface gráfica, controle lógico e condições propícias para calibração de modelos, como o Watercad.
- Tipo 3: contam com as características dos tipos anteriores e possuem integração com o sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) de supervisão e controle operacional de uma rede hidráulica. São mais completos, e, conseqüentemente mais complexos, demandando experiência para seu uso. Destacam-se por oferecer opções de simulação alternando cenários e operações controle, como por exemplo, o acionamento de válvulas e bombas. São exemplos desse tipo o Strumap e o Synergee.

#### **b) Uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

Freitas et al (2022) realizou um estudo em um sistema real de abastecimento de água na qual propôs uma metodologia que consistia no levantamento de dados, seguido da manipulação dos dados no SIG, construindo um banco de dados georreferenciado, permitindo simular pressões através do Epanet. A partir das simulações, calculou-se as perdas, propôs-se cenários e elaborou os mapas. Em posse de todas as informações, realizou uma avaliação energética da área estudada, conforme Figura 8.

Figura 8 – Metodologia para integração de simulações hidráulicas e SIG aplicada por Freitas et al (2022)



Fonte: (FREITAS et al., 2022)

O processo de modelagem levou em conta os dados do projeto, arranjo da rede, edição das propriedades dos componentes do sistema, como trechos de rede, nós com as respectivas cotas topográficas, diâmetro, rugosidade e comprimento das tubulações, especificação das condições de funcionamento, definição de opções de simulação, a simulação em si e a obtenção, calibração e validação dos resultados obtidos (SANTOS, 2016).

A equação 2.4 permite o cálculo da perda por pressões provocadas pela pressão média da rede.

$$\sum_{i=1}^{nós} Perdas = P_{média}^{0,5} \times 7,27 \quad (2.4)$$

Onde:

$i$  = número de nós;

$P_{média}$  = Pressão média da rede.

Pela equação 2.5 calcula-se o indicador de energia dissipada (Gomes et al., 2017 apud FREITAS, SILVA, et al., 2022).

$$i_{ED} = \frac{hf_{total}}{L_{total}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left( \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right) \right] i}{L_{total}} \quad (2.5)$$

Em que:

$i_{ED}$  = índice de energia dissipada da rede;

$hf_{total}$  = valor referente à perda de carga hidráulica total da rede;

$i$  = trecho (tubulação em análise);

$n$  = quantidade de trechos (tubulações) da rede;

$p_1/\gamma$  = parcela de energia de pressão do nó de montante do trecho;

$p_2/\gamma$  = parcela de energia de pressão do nó de jusante do trecho;

$z_1$  e  $z_2$  = cotas topográficas dos nós de montante e jusante do trecho, respectivamente.

$L_{total}$  = comprimento total da rede.

Para o cálculo do indicador de eficiência energética, Gomes et al., (2017, apud Freitas, 2022) estabeleceu a equação 2.6.

$$I_{EE} = (I_{ED}(referência)) \times (I_{ED}(cenário)) \quad (2.6)$$

Onde:

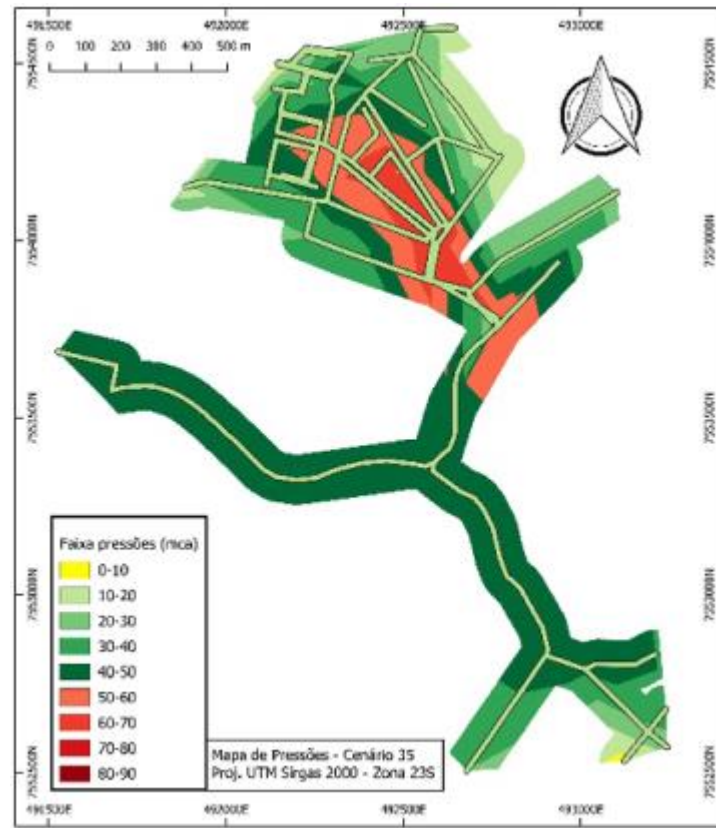
$I_{EE}$  = indicador de eficiência energética da rede;

$I_{ED}$  referência = índice de energia dissipada da rede para o cenário do projeto original da rede;

$I_{ED}$  cenário = índice de energia dissipada da rede para o cenário em que se deseja aferir a eficiência energética.

Entre os cenários simulados por Freitas et al (2022), considerou-se um cenário (A) com a cota piezométrica do reservatório fixada em 957 m.c.a., previu 3 válvulas redutoras de pressão e a implantação de uma bomba em um determinado trecho. Para o cenário (B) a pressão do reservatório foi estabelecida como 944 m.c.a., foram previstas 4 VRPs e uma bomba no trecho 96. No cenário (C), a pressão do reservatório foi definida em 940 m.c.a., as mesmas VRPs do cenário (B) e a mesma bomba no trecho 96, além de uma bomba no trecho 13. O mapa de pressões do cenário C está representado na Figura 9.

Figura 9 - Mapa de pressões no cenário C.



Fonte: (Freitas, Silva, Silva, & Barbedo, 2022)

A comparação entre as pressões médias obtidas nas simulações, assim como os índices de perdas calculados com base nesses valores de pressões médias, está disposta na Tabela 5

Tabela 4 - Valores de pressão e índice de perdas obtidos nas simulações.

	<b>Pressão média (m.c.a.)</b>	<b>Índice de perdas (%)</b>
<b>Cenário A</b>	62,3	57,4
<b>Cenário B</b>	44,4	48,2
<b>Cenário C</b>	41,0	46,6

Fonte: (Freitas, Silva, Silva, & Barbedo, 2022)

Após as simulações, foi realizada uma análise de eficiência energética considerando um aumento populacional e com o cálculo de fatores de demandas dos nós para períodos de 5 anos, considerando o ano de 2020 como fator de valor 1, por ser o ano de eficiência máxima para o horizonte de projeto, de 20 anos. Finalmente, aplicou-se o índice de eficiência energética para cada cenário (FREITAS et al, 2022).

As análises comparativas entre os cenários propostos com a integração do ambiente SIG, permitiram uma visualização espacial dos cenários e do comportamento de cada variável envolvida na operação do sistema, permitindo a identificação de melhorias no sistema de distribuição, principalmente pelo ajuste da pressão dentro dos limites da NBR 12.218/2017, promovendo a redução do índice de vazamentos e a energia consumida em sistemas de bombeamento (FREITAS et al., 2022).

### **c) Setorização da rede em distritos de medição**

A divisão da rede em setores, ou distritos, de medição (*districted metered áreas – DMA*) permite uma maior acurácia na identificação de vazamentos nas redes de distribuição, através do monitoramento das entradas e saídas de cada distrito. Essa técnica é muito usada na prática, porém sua aplicação fica restrita à experiência dos técnicos (DE PAOLA et al., 2014).

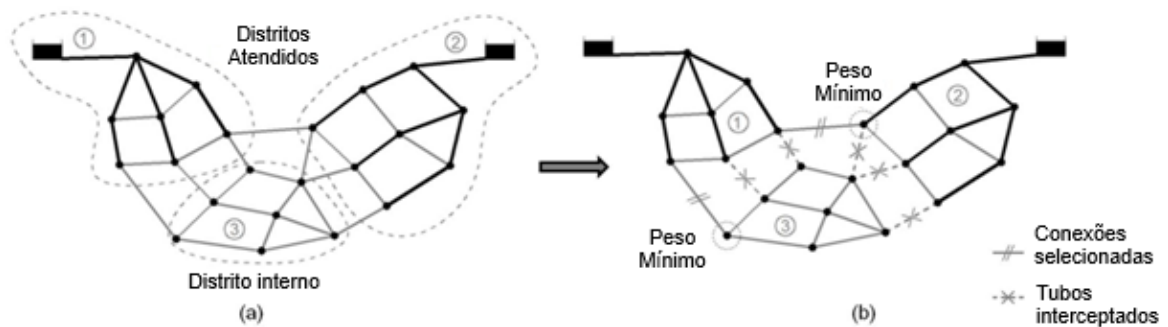
Um início comum no controle de pressão é criar os DMAs a partir do fechamento de registros existentes ou implantação de válvulas extras de modo a isolar hidraulicamente uma área. Um distrito de medição pode ser convertido em uma zona de controle de pressão pela instalação de uma válvula redutora de pressão na entrada (STOKES et al., 2013).

O seccionamento da rede garante maior estabilidade na pressão da rede, promovendo aumento da vida útil do sistema, a partir da redução da pressão, que diminui a possibilidade de possíveis rompimentos na rede, e dessa forma contribui para a redução das perdas reais do sistema (GOMES et al., apud GIFFONI, 2021).

Alguns fatores são importantes ao dividir os setores de medição: tamanho, comprimento das redes principais, número de ligações, topografia, tipo de consumidores, demanda uniforme e variável, qualidade da água, entre outros. (VICENTE et al., apud SILVA, 2019).

A Figura 10 mostra um exemplo de setorização da rede, onde são definidos três distritos de medição e então suas conexões são interrompidas, deixando apenas uma interligação de modo a controlar as vazões que entram e saem dos distritos.

Figura 10 - Separação da rede em distritos de medição.



Fonte: (De Paola, et al., 2014)

Giffoni (2021) destaca que os resultados do estudo de Ferrari e Savic (2015), apresentaram redução de 53% a 60% quanto à frequência de ruptura de redes e de 26% a 59% em relação ao número de vazamento, além de terem promovido maior segurança ao sistema com a setorização da rede trabalhada.

Essa ferramenta apresenta algumas desvantagens, como a redução da resiliência e redundância da rede contra falhas, tendo em vista que promove o isolamento dos trechos, além do alto custo para implantação. (GIFFONI, 2021)

## 2.5. Protocolos tecnológicos e procedimentos para controle de perdas

Nesse capítulo, definimos protocolos tecnológicos como metodologias a serem aplicadas com o objetivo de controle e redução das perdas em sistemas de abastecimento. Dessa forma, trata-se de um processo composto de pessoas, equipamentos, materiais, métodos e/ou procedimentos que combinados às ferramentas, buscam cumprir o objetivo.

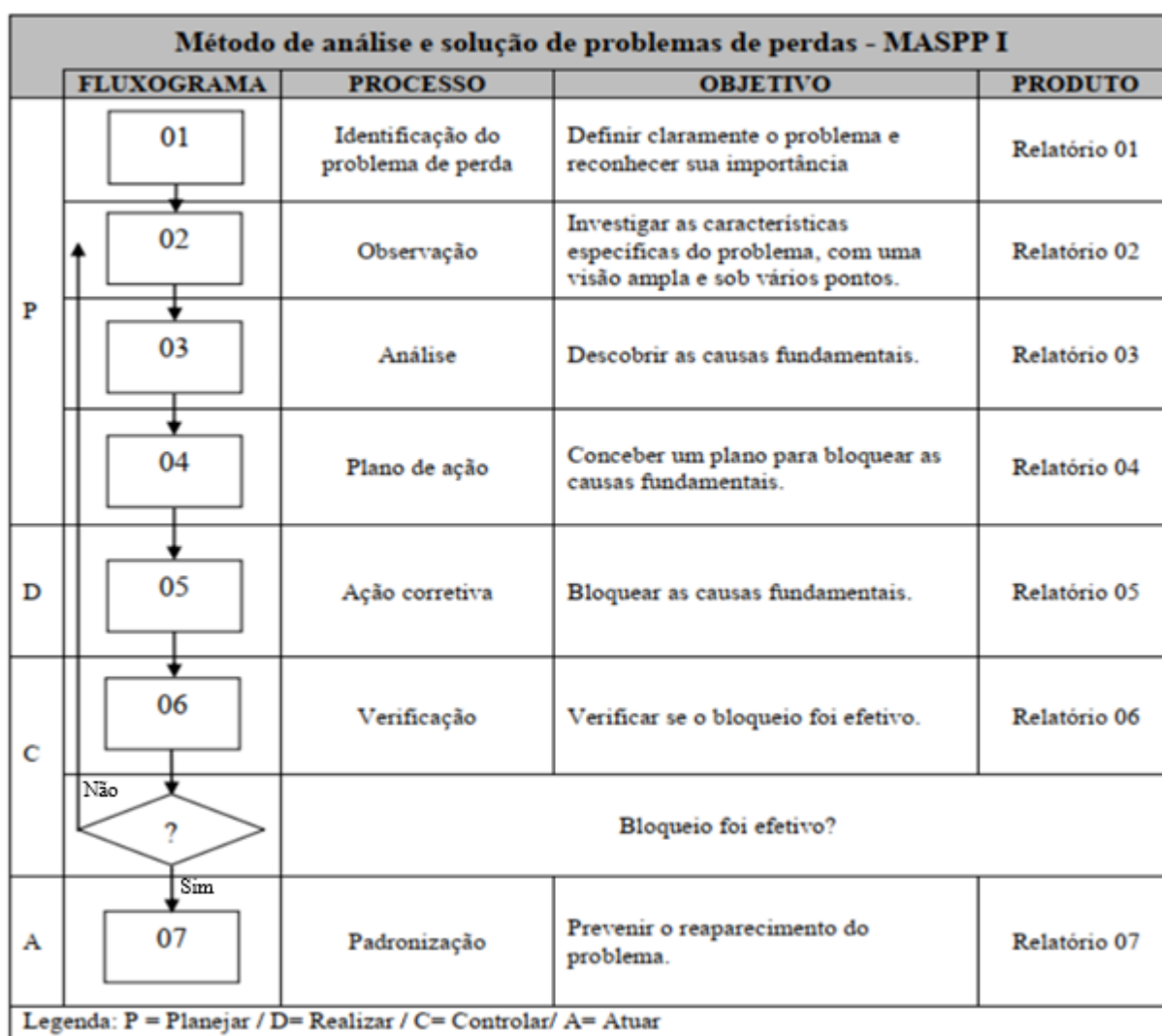
A maioria dos gestores adotam medidas no combate às perdas, mas poucos se organizam sobre protocolos pré-definidos. Na sequência serão apresentadas as principais metodologias aplicadas nacionalmente no controle de perdas. O foco nas metodologias nacionais é com o objetivo de entender as metodologias adaptadas para aspectos encontrados no Brasil, seja quanto ao grau de desenvolvimento, disponibilidade de investimentos no setor, a realidade sócio econômica da população e as técnicas difundidas no país.

### 2.5.1. MASPP – Sabesp

O Método de Análise e Solução de Problemas de Perdas de Água (MASPP) trata-se de uma metodologia implementada pela Sabesp, empresa gestora de sistemas de saneamento presente em mais de 370 municípios no estado de São Paulo (CIANFANELLI, 2012).

Essa metodologia teve sua primeira etapa, o MASPP I, implantada em 2005 seguindo o conceito de método de análise e solução de problemas, conforme Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma de atividades do MASPP I.



Fonte: adaptado de (CIANFANELLI, 2012)

O principal enfoque do MASPP é caracterizar o real problema, através da obtenção de dados que comprovem fatos previamente levantados e que comprovadamente causam problemas (FUNASA, 2014).

O MASPP I retornou resultados como a redução do IPDt (Índice de perdas na distribuição – total) de 87 litros por ligação por dia, para 61 litros por ligação por dia (CIANFANELLI, 2012).

Em 2006, a partir dos resultados da primeira versão do protocolo, deu-se início ao MASPP II, partindo das premissas básicas: atingir níveis de VD (volume disponibilizado) e de VU (volume utilizado) mais apurados, permitindo atingir metas mais ousadas de redução de perdas de água e de faturamento; garantir a cultura de controle e *empowerment* (ação de gestão estratégica visando o melhor aproveitamento dos recursos humanos nas empresas através da delegação de poder) já iniciados no MASPP I, aumentando a qualidade dos serviços ofertados aos usuários, proporcionando ganhos de produtividade e competitividade. A Figura 12 detalha essas ações (CIANFANELLI, 2012).



Figura 12 - Ações implementadas pelo MASPP II.

Método de Análise e Solução de Problemas de Perdas – MASPP II (Termo de Referência – versão 02, de 11/11/2006)	
<b>A</b>	<b>Inputs do MASPP I</b>
	Padronização
	Relatórios da Auditoria
	Relatórios das Análises Críticas
	Conclusão
<b>Decisões do 3º workshop do MASPP I:</b>	
<b>P</b>	<b>Indicadores</b>
	Volume produzido para cada setor de abastecimento (m³/mês)
	Volume cons. medido para cada grupo de faturamento (m³/mês)
	Limites de especificações para setores e grupos (m³/mês)
	<b>Metas</b>
	Reduzir o VP do setor em ___% até 31/12
	Aumentar o VCM do grupo em ___% até 31/12
	Cumprir os limites de especificações até 31/12
	<b>Recursos</b>
	<b>Humanos</b>
	<b>Informática</b>
	<b>Físicos</b>
	<b>Financeiros</b>
	<b>Institucionais</b>
	<b>1º workshop MASPP II para formatação do Plano de Ação Anual</b>
	<b>Método</b>
	Procedimento zero de elaboração de padrões
	Limites de especificações para setores e grupos (m³/mês)
	Centrais de controle e processos
	Dia de faturamento ("sponsor" de grupos de faturamento)
	Controle de documentos e registros
	Treinamento ao estilo "on the job training" (treinamento no local de trabalho)
	Modelo de Auditoria
Modelo de Análise Crítica	
Método de Análise de Falhas e Efeito – FMEA	
Metodologias 5S	
Procedimentos de reuniões estruturadas	
Metodologia de apresentação de trabalhos técnicos da ABES	
<b>D</b>	<b>Capacitar</b>
	Matriz de Capacitação (necessidades das funções)
	Plano de Capacitação Individual (necessidades das pessoas)
	Capacitação das pessoas (operacionais e lideranças) nos seguintes termos:
	Avaliação da capacitação
	Certificação da mão de obra
	Prática de certificação da mão de obra
	Plano de Comunicação Social para sensibilização da força de trabalho
	Plano de <i>Benchmarking</i>
	Revisão anual dos procedimentos vigentes através dos faixas verdes
	Criar novos procedimentos através dos faixas verdes
	<b>2º workshop MASPP II – Integração dos novos faixas verdes e brancas</b>
	<b>Executar</b>
	Descobrir as metas de VP e de VCM
	Implantar 5S nas centrais de controle
	Aplicar os procedimentos operacionais
	Cessão à vista para democratização das informações (Comunicação Social)
Realizar reuniões estruturadas para sensibilização da força de trabalho	

Fonte: FUNASA, 2014

Figura 12 (continuação) – Ações implementadas pelo MASPP II.

<b>D</b>	<b>Medir</b>
	Gerar diagramas de Pareto
	Gerar curva ABC para classificação de setores e grupos
	Medir os itens de controle conforme estabelecido nos procedimentos
	Gerar gráficos de controle
	Medir capacidade dos processos
<b>C</b>	Identificar causas especiais e comuns
	<b>Comparar e estudar causas</b>
	Avaliação do Plano de Ação Anual
	Análise Crítica
<b>A</b>	Auditoria
	<b>Agir</b>
	Padronização dos novos procedimentos
	Revisão anual dos procedimentos vigentes
	3º <i>workshop</i> MASPP II

Fonte: FUNASA, 2014

### 2.5.2. COM+ÁGUA.2 – Ministério das Cidades

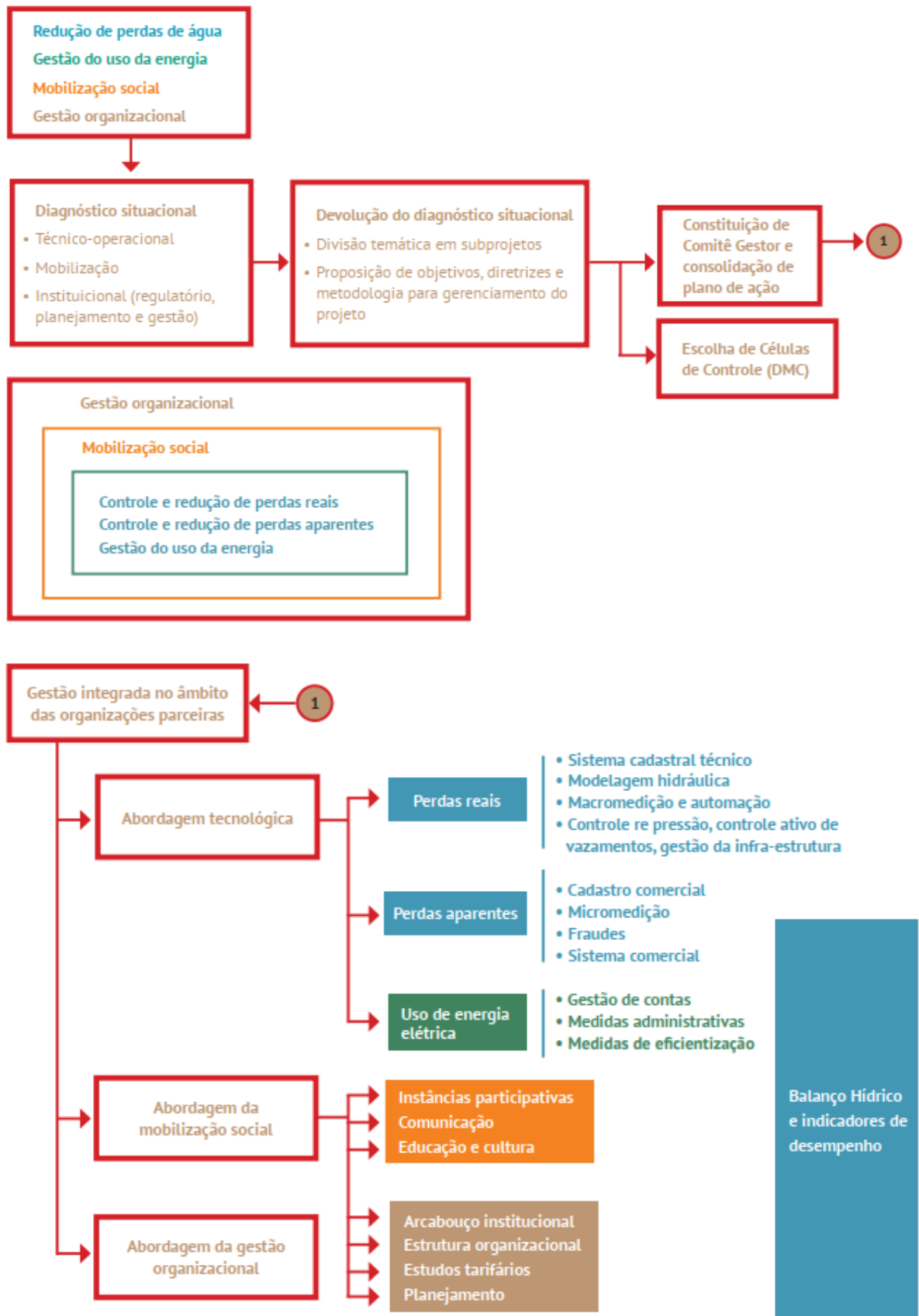
O Projeto COM+ÁGUA.2 é uma iniciativa do Ministério das Cidades por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA, atual SNS) em parceria com a Empresa Baiana de Saneamento S.A. (EMBASA) e a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), no qual propõe-se “uma metodologia para gestão integrada e participativa visando o combate e o controle das perdas de água e uso eficiente da energia elétrica em sistemas de abastecimento de água” (Ministério das Cidades, 2018).

Esse programa propõe-se a responder três perguntas que comumente integram a discussão acerca das perdas de água:

- Como definir o rendimento e a perda de um sistema de distribuição de água?
- Como efetuar um diagnóstico de perdas?
- Como conceber um plano de redução e controle de perdas?

A estrutura do projeto está retratada na Figura 13.

Figura 13 - Estrutura do programa Com+Água.2.



O projeto foi dividido em cinco pilares fundamentais: mobilização social, perdas reais, perdas aparentes, eficiência energética e gestão organizacional. Para cada pilar foram estabelecidas ações específicas, conforme Tabela 6. (Ministério das Cidades, 2018).

Tabela 5 - Os pilares trabalhados no projeto.

	<b>Subprojetos</b>	<b>Finalidades</b>
<b>MOBILIZAÇÃO SOCIAL</b>	<b>Desenvolvimento de instâncias e da gestão participativa</b>	Propiciar meios de relacionamento horizontal entre os técnicos e áreas envolvidas no programa e de aproveitamento de potenciais lideranças técnicas por meio do Comitê Gestor.
		Desenvolver a cultura de planejamento e sua incorporação na rotina do dia a dia e o desenvolvimento de planos de ação.
	<b>Comunicação interna e externa</b>	Facilitar a comunicação, a integração e o desenvolvimento das atividades internas e externas (neste caso visando inclusive à redução de usos não autorizados)
	<b>Educação e Cultura</b>	Capacitar e integrar os colaboradores no ambiente e processos de trabalho.
<b>PERDAS REAIS</b>	<b>Macromedição e automação</b>	Disseminar a cultura de medição, estender a medição para os sistemas distribuidores e capacitar técnicos nesta atividade.
	<b>Sistema cadastral e modelagem hidráulica</b>	Disseminar a cultura de atualização de cadastro técnico e de modelagem hidráulica, capacitar técnicos nestas atividades.
	<b>Ações para redução de perdas reais: gestão de DMC, controle de pressão e controle ativo de vazamentos</b>	Mudar os paradigmas de gestão dos sistemas distribuidores por meio da institucionalização dos técnicos de gestão de DMC, controle de pressão e controle ativo de vazamentos.
	<b>Gestão de ativos</b>	Planejar as intervenções de renovação dos ativos e obras de melhoria e ampliação evitando ou minimizando as intervenções improvisadas, sem planejamento e de caráter corretivo, geralmente mais custosas e menos eficientes.
<b>PERDAS APARENTES</b>	<b>Desenvolvimento do cadastro comercial</b>	Institucionalizar mecanismos de atualização e complementação do cadastro comercial e integração com o cadastro técnico de redes.
	<b>Desenvolvimento da micromedição</b>	Desenvolver a gestão do parque de medidores, complementar a medição e reduzir a submedição.
	<b>Desenvolvimento do combate a usos não autorizados</b>	Desenvolver e estruturar o combate a fraudes e o relacionamento com comunidades em habitações subnormais.
<b>GESTÃO DE ENERGIA</b>	<b>Medidas administrativas e de redução de gastos com energia elétrica</b>	Melhorar a gestão de contas de energia; o relacionamento com as concessionárias e capacitar os gestores neste tipo de atividade.
	<b>Projetos de eficiência energética com a redução de consumos e demandas de energia elétrica</b>	Desenvolver projetos de redução de consumos e demanda de energia elétrica, capacitando pessoal no processo.
	<b>Manutenção preventiva e preditiva eletromecânica</b>	Desenvolver a cultura de manutenção preventiva e preditiva para aumentar a fiabilidade e disponibilidade dos sistemas e equipamentos.
	<b>Alternativas e oportunidades de microgeração em sistemas de abastecimento de água</b>	Identificar o potencial econômico de microgeração de energia nos sistemas de abastecimento, por meio de disseminação de melhores práticas.
<b>PLANEJAMENTO E GESTÃO</b>	<b>Revisão das políticas e processos de aquisição de materiais, equipamentos e serviços e desenvolvimento do controle de qualidade no suprimento destes insumos</b>	Prevenir a ocorrência de perdas de água pela utilização de materiais e equipamentos adequados, nos tempos necessárias e com mais alta qualidade.

<b>Implantação de sistema de gestão de ativos de infraestrutura, incluindo o estabelecimento de regras operacionais que permitam o estabelecimento de prioridades na tomada de decisões</b>	Institucionalizar sistema de apoio à decisão que permita a manutenção da infraestrutura atualizada, em condições de eficiência, segundo regras técnica e economicamente apropriadas.
<b>Modelagem de forma (s) de contratação por desempenho em atividades de combate a perdas de água e eficiência energética</b>	Prover alternativas rápidas para investimento na eficiência energética e na redução de perdas reais e aparentes de água.
<b>Revisão de critérios de projeto e construção</b>	Mudar os paradigmas de projeto e construção, visando fortalecer os mecanismos de controle operacional dos sistemas e prevenção das perdas de água.
<b>Reestruturação organizacional para a gestão dos sistemas distribuidores com base em Distritos de Medição e Controle: institucionalização do controle de pressões do controle ativo de vazamentos e das ferramentas de análise de perdas</b>	Mudar os paradigmas de operação e manutenção dos sistemas distribuidores, visando à redução das perdas reais.

Fonte: adaptado de (Ministério das Cidades, 2018)

### 2.5.3. Metodologia da CAESB

A metodologia aplicada pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília – CAESB, segundo Gonçalves (1998) consiste inicialmente na determinação das perdas com o objetivo de identificar o volume perdido de água. São considerados os seguintes volumes:

- Volume oriundo da macromedição: obtidos por macromedidores instalados em quase todas as captações ou com uso eventual da hidrometria para obtenção de vazão em algumas delas. Alguns volumes são obtidos a partir do cálculo da vazão a partir das horas de funcionamento das bombas dos sistemas de recalque;
- Volume micromedido: medição através da leitura dos hidrômetros;
- Volume presumido: valor estimado a partir da média das últimas doze leituras em estabelecimentos que possuem hidrômetro, mas que por algum motivo não foi possível realizar a leitura;

A partir dos volumes captados e contabilizados, é calculado o índice de perdas, levando em consideração também estimativas de consumos pontuais não contabilizados, como consumo da ETA, por exemplo. Nessa etapa são aplicados os métodos das vazões mínimas noturnas e do balanço hídrico.

Como medidas de controle de perdas não físicas, os locais com elevados índices de perdas foram analisados devido à suspeita de fraudes e ligações clandestinas. Dessa forma

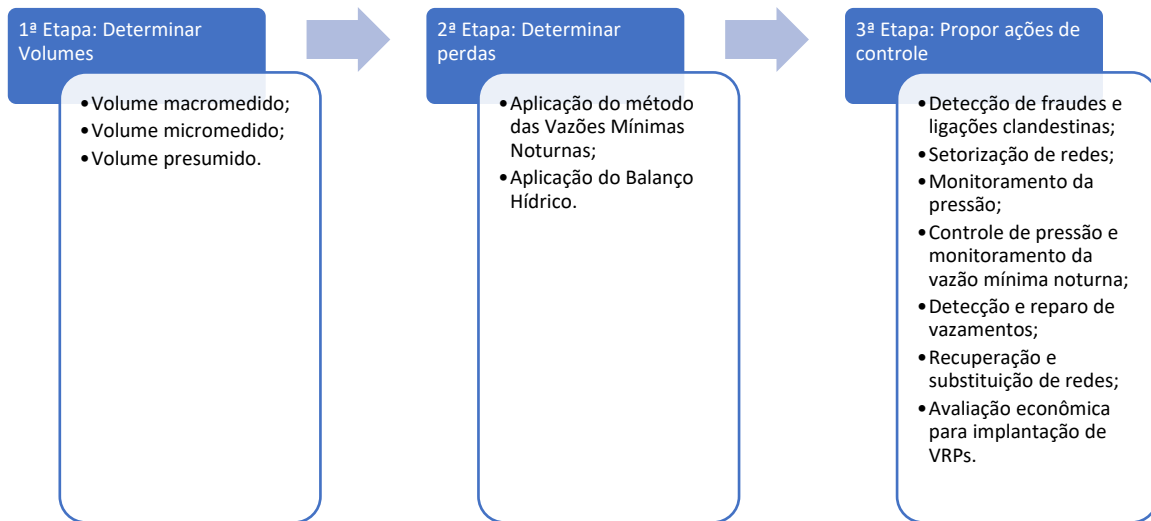
realizou-se uma pesquisa por vazamentos não visíveis e perdas em registros da rede da localidade (GONÇALVES, 1998).

Quanto ao controle de perdas físicas foram adotadas as seguintes ações:

- Setorização de redes: A setorização permitiu separar trechos de rede e realizar uma análise mais detalhada propondo instalações de VRPs, substituição de trechos de rede e avaliação do número de registros, conferindo mais agilidade na tomada de decisões, permitindo tratar de forma isolada cada região e levando a uma eficiência nos investimentos em setores que carecem em detrimento de outros bem estabelecidos;
- Monitoramento da pressão: Implantação de VRPs e instalação de medidores de vazão na entrada de cada setor. Monitoramento por telemetria de diversos pontos do sistema como nível dos reservatórios, vazões e pressões em pontos estratégicos do sistema. Variações nos gráficos obtidos por telemetria permitem identificar situações de perdas como vazamentos;
- Controle de pressão e monitoramento da vazão mínima noturna;
- Pesquisa, detecção e reparos de vazamentos;
- Recuperação e substituição de redes;
- Teste de avaliação econômica para uso de válvulas redutoras de pressão.

A Figura 14 resume as etapas da metodologia da CAESB.

Figura 14 - Metodologia da CAESB para controle de perdas.

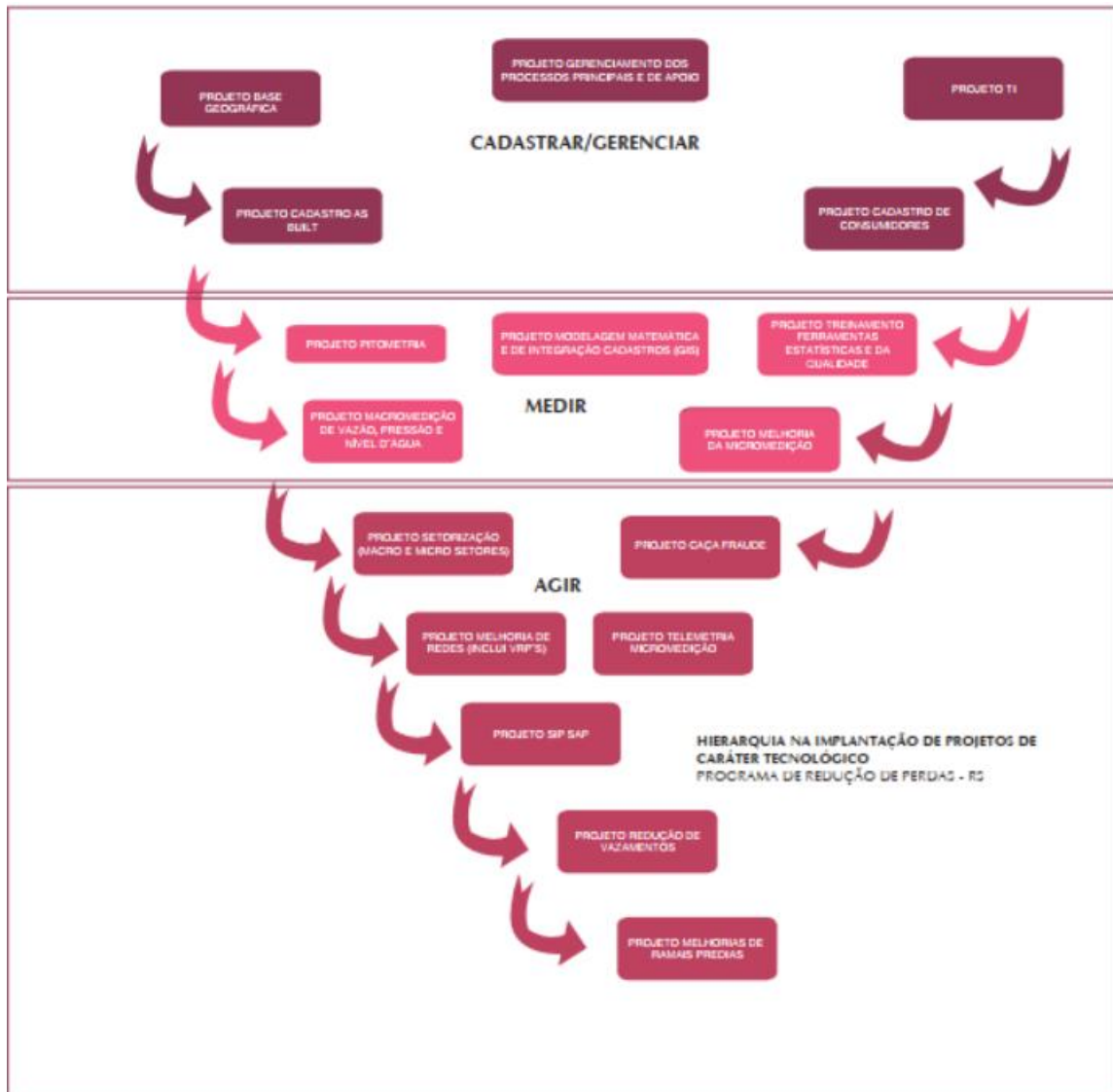


Fonte: (GONÇALVES, 1998)

#### 2.5.4. Programa de Redução de Perdas (PRP) – Agesan-RS

O Programa de Redução de Perdas (PRP) proposto pela Agência Reguladora Intermunicipal do Saneamento do Rio Grande do Sul baseia-se no fato que, a partir da identificação das causas, ações estruturais e não estruturais estarão sendo formatadas a partir de uma hierarquia, conforme a Figura 15 e a Figura 16 (FUNASA, 2014).

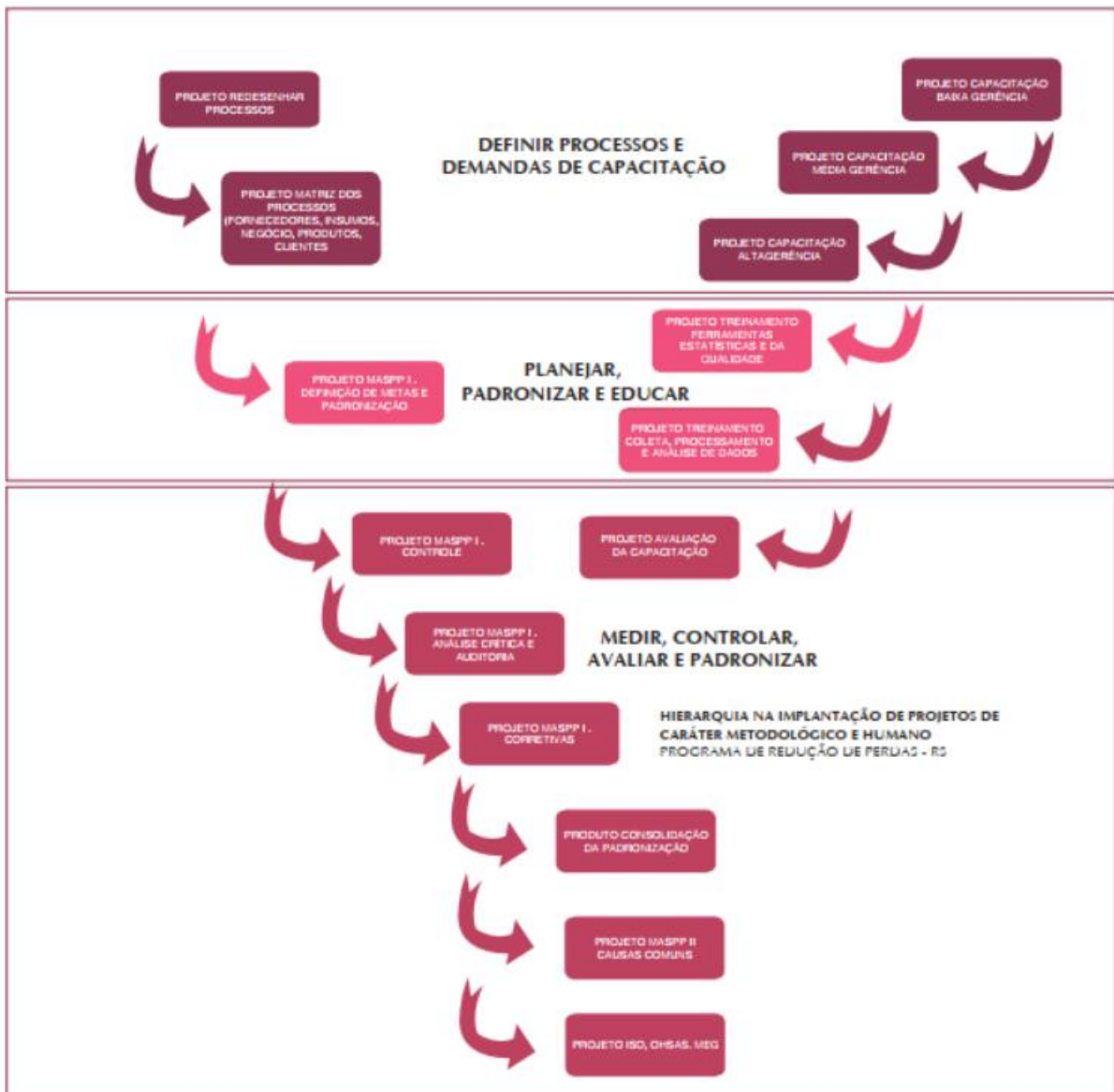
Figura 15 - Hierarquia das ações tecnológicas estruturais e não estruturais.



Fonte: (FUNASA, 2014)



Figura 16 - Hierarquia das ações metodológicas e humanas estruturais e não estruturais do MASPP.



Fonte: (FUNASA, 2014)

### 2.5.5. Manual de Redução de Perdas – FUNASA

A partir de um relatório analisando e comparando metodologias aplicadas no combate às perdas, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) publicou o manual Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água.

Nesse manual é apresentado um protocolo resumido, elaborado a partir das metodologias MASPP da Sabesp, Balanço Hídrico da IWA e o Programa de Redução de Perdas

da AGESAN, pautado no diagnóstico das causas das perdas e da formulação de planos de ação de redução de perdas, conforme Figura 17 (FUNASA, 2014).

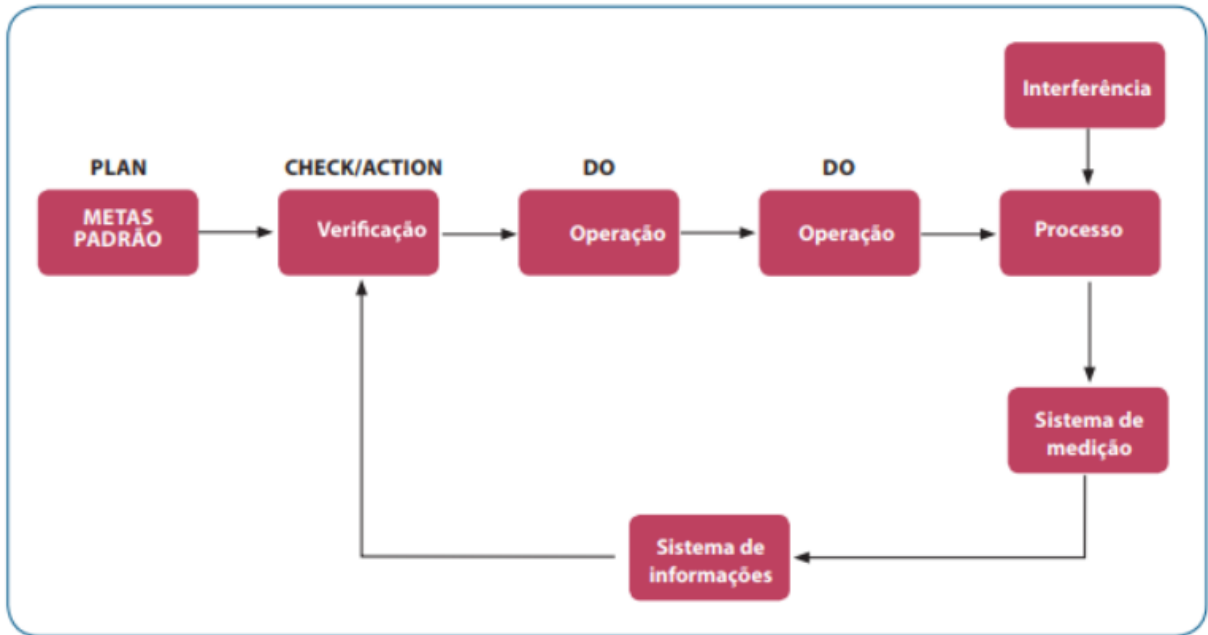
Figura 17 - Metodologia da FUNASA para combate às perdas.

Quadro resumo do Relatório 2		
Inequação almejada	$\frac{\text{produção}}{\text{demanda}} \geq 1,0$	A ser viabilizada tanto pelo aumento de oferta como pela redução de demanda, incluindo redução de perdas do sistema de abastecimento de água e ações de Educação Ambiental ostensivas
Métrica do indicador	IPL anualizado	Padrão PNCDA ou SISPERDAS
Métrica das variáveis	VD e VU em litros/ligação.dia	Controlado por Município, setor de abastecimento e DMC's – distritos de medição e controle, tanto pelas Centrais de Controle quanto pelas Gerências e organizações de saneamento
Método	IWA (controle das causas de perdas reais e aparentes) e MASPP (controle das variáveis), além das ações sistematizadas ao estilo ISO, OHSAS e MEC	Sequência das ondas de gestão das organizações de saneamento, e continuidade das ações do Plano de Redução de Perdas
Refinamento do Método	Classificação das ações em tecnológicas, metodológicas e humanas	Dar consequência ao tripé de ataque aos fatores causais das perdas d'água
TI	SISPERDAS, pela via do controle do IPL e de suas variáveis (VD, VU e Vespecial) por Município e setor de abastecimento	A adoção de outros indicadores, principalmente outros estabelecidos pela IWA ou pelo próprio corpo técnico, carece de amadurecimento, tendendo o controle atual sobre o IPL. É requerido que, como objetivo, o Vespecial tenda a ser incorporado ao VU
	SCORPION R, SAPIENS da SANEPAR, SAMP da ADTS pela via do controle de VD e VU	Alimentado por Sistemas Supervisórios o que permite que se exerça controle das causas das perdas

Fonte: (FUNASA, 2014)

Esse protocolo baseia-se no método PDCA (*Plan-Do-Check-Act* – Planejar-Fazer-Verificar-Agir) aplicado ao ciclo de controle industrial (Figura 18).

Figura 18 - Ciclo de controle industrial associado ao ciclo do PDCA.



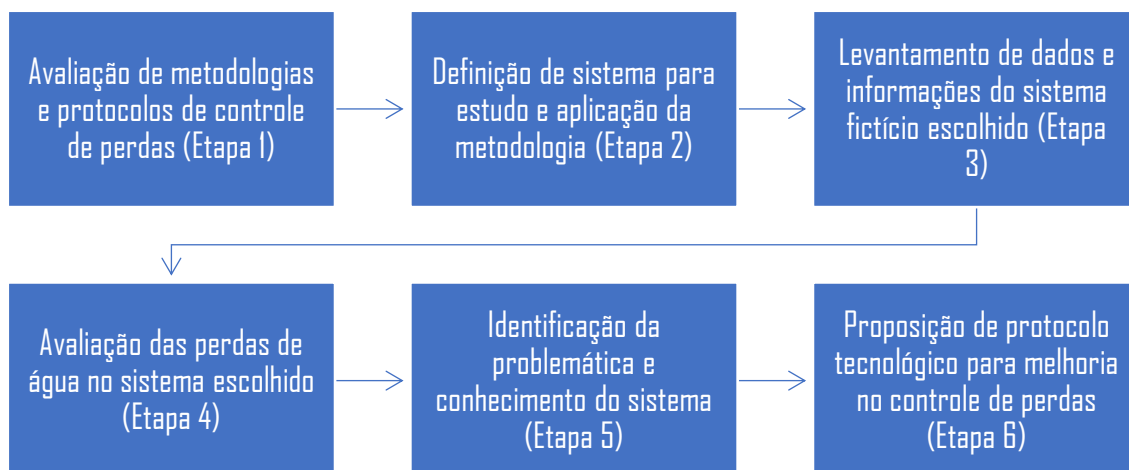
Fonte: (FUNASA, 2014)

### 3. Metodologia e descrição de protocolo

Ao iniciar a metodologia, buscou-se definir que protocolo é uma séria de ações com foco para se atingir um resultado ou objetivo e as ferramentas apresentadas anteriormente são os recursos a serem utilizados no protocolo. Dessa forma buscou-se enumerar as ferramentas passíveis de aplicação em um sistema de abastecimento de médio porte.

A metodologia proposta pode ser dividida em etapas conforme fluxograma disposto na Figura 19. O trabalho de Nogueira & Silva (2023) apresentou alguns resultados iniciais desta pesquisa, como a metodologia para elaboração do protocolo e sua primeira etapa, a de diagnóstico.

Figura 19 - Fluxograma das etapas da proposição do protocolo.



Fonte: autor.

Durante a Etapa 1 deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica com foco no controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. Foram avaliadas as metodologias e protocolos existentes e comparados buscando a entender as particularidades de cada procedimento e cada sistema existente.

Concomitantemente à pesquisa inicial, com a Etapa 2, buscou-se estabelecer um sistema fictício com características mais próximas aos sistemas encontrados em cidades de aproximadamente 20.000 a 30.000 habitantes de modo a desenvolver uma metodologia adequada àquele contexto pudesse ser formulada.

A partir da definição do sistema a ser estudado, foram estabelecidas as informações que caracterizariam o sistema e que permitisse uma avaliação geral com algumas perguntas a serem feitas.

1. Existe monitoramento de vazão ou já existiu?
2. Existe monitoramento de pressão ou já existiu?
3. Já foram realizados estudos de perdas no sistema?
4. Possui cadastro das redes? (CAD, Epanet)
5. Possui dados de saneamento georreferenciados?
6. Possui programa de geofonamento e investigação de vazamentos em campo?
7. Existem dados de perdas aparentes, vazamento de reservatórios?
8. Existem dados de volume de água faturada e medida?
9. Existem dados de água não faturada medida e não medida?
10. Como é feita a manutenção de vazamentos?
11. São mapeadas as regiões com mais vazamentos?
12. Possui equipe técnica de planejamento e melhoria do sistema?
13. São realizados treinamentos para qualificação da equipe técnica?
14. Existem válvulas redutoras de pressão instaladas no sistema?
15. São realizadas manutenções preventivas nas instalações de bombeamento?

Uma fonte de consulta para informações de um sistema real é o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos – SNIRH no qual são encontradas informações das captações, tratamento, reservação e adutoras do sistema (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020).

Na etapa 4 foi avaliado o índice de perdas no sistema a partir das medições de vazão disponíveis por meio da aplicação do balanço hídrico e mediante disponibilidade de equipamentos de medição foi avaliada a possibilidade de aplicar o método dos mínimos noturnos. Mediante a identificação das perdas e conhecimento do sistema, foram identificados os pontos críticos a serem trabalhados no protocolo.

A partir das informações estabelecidas para o sistema fictício, identificou-se os fatores que contribuem para os gargalos do sistema. Entre esses fatores, destacam-se a capacidade de tratamento inferior à demanda atual, reservação inferior à 10% do volume diário de consumo estimado, tubulações antigas. Todos esses fatores comprometem as pressões do sistema e colaboram para o déficit no abastecimento.

A falta de setores de medição e o acompanhamento da pressão e vazão em vários pontos do sistema é uma característica do porte dos sistemas estudados e foi considerada nessa etapa, como um dos pontos a serem trabalhados no protocolo.

A partir da comparação de diferentes sistemáticas ou protocolos encontrados na literatura, foi proposto, na etapa 6, um protocolo envolvendo todo o processo de armazenamento de dados, medições, ações operacionais e de gestão para com o objetivo final reduzir as perdas de água no sistema eleito. Este protocolo visa nortear as ações atuais e futuras com o intuito de melhorar a eficiência do processo.

Para auxiliar na elaboração do protocolo, foram estabelecidos grupos de interesse a serem trabalhados dentro do processo, são eles:

**Setorização e Zoneamento:** Dividir o sistema em setores menores e analisar as características de cada zona ajuda a identificar áreas com maiores índices de perdas e, assim, concentrar os esforços de redução onde são mais necessários.

**Monitoramento e Medição:** Implementação de sistemas de monitoramento em tempo real e medição de vazão e pressão em diferentes pontos do sistema para identificar locais com vazamentos e desperdícios.

**Análise de Balanço Hídrico:** Utilização de técnicas para calcular o balanço hídrico do sistema, comparando a água produzida com a água distribuída e consumida. Isso permite detectar perdas e determinar o índice de perdas do sistema.

**Detecção de Vazamentos:** Utilização de tecnologias, como correlação de ruídos e análise acústica, para detectar vazamentos não visíveis nas redes de distribuição de água.

**Controle de Pressão:** O controle adequado da pressão na rede pode reduzir os vazamentos e as rupturas das tubulações, diminuindo as perdas.

**Automação e Telemetria:** Implantação de sistemas de automação e telemetria que permitem o controle remoto do sistema e a rápida detecção de eventos anormais.

**Programas de Manutenção Preventiva:** Estabelecimento de rotinas de manutenção preventiva para garantir a integridade e eficiência das infraestruturas.

**Engajamento da Comunidade:** Sensibilização e envolvimento dos usuários na conscientização sobre o uso responsável da água e relato de vazamentos.

**Substituição e Renovação de Infraestruturas:** Realização de investimentos para a substituição e renovação de tubulações antigas e desgastadas que são mais propensas a vazamentos.

**Reuso e Reciclagem de Água:** Explorar oportunidades de reuso de água tratada em atividades não potáveis, como irrigação, indústria e descargas sanitárias.

## **4. Resultado e Discussões**

### **4.1. Análise comparativa entre protocolos**

Entre os protocolos citados anteriormente, podemos destacar que todos seguem um processo de diagnóstico para propor ações. Porém, é possível detectar diferenças na concepção e na aplicação de cada protocolo.

O MASPP criado pela Sabesp compreende uma gama de estudos e ações que demandam de uma infraestrutura robusta tanto de material tecnológico quanto de capacidade e volume de mão de obra. Esse método compreende uma enorme revisão e adequação das unidades organizacionais como forma de alavancar a qualidade do serviço e consequentemente obter melhores resultados.

A Sabesp baseia seu protocolo de acordo com o método PDCA e promove a revisão de indicadores e procedimentos ao final de cada aplicação, de modo a aprimorar e garantir o combate contínuo às perdas de água.

Por outro lado, o modelo do Com+Água.2 do Ministério das cidades busca apresentar um conceito voltado também para o entendimento do aspecto social do problema, levando em conta no diagnóstico e nas ações propostas. Esse método busca aliar além do órgão gestor, a comunidade e demais parceiros convenientes para auxiliar no controle das perdas, trabalhando em parcerias com uma gestão integrada.

A divisão em abordagens tecnológica, da mobilização social e da gestão organizacional permite setorizar as ações e parcerias, permitindo uma amplitude maior na capacidade de aplicação desse protocolo.

O protocolo proposto pela CAESB foca apenas na identificação do problema e nas ações tecnológicas para resolvê-lo, deixando de lado o aprimoramento da parte humana da gestão, aspecto essencial quando se quer promover a melhoria de algum processo. Quanto às ações propostas para controle propõem as medidas tecnológicas essenciais para a redução de perdas: setorização, monitoramento de pressão, detecção e reparo de vazamentos, recuperação e substituição de redes e avaliação para implantação de VRPs.

O método da Agesan, o PRP, separa suas ações em humanas e tecnológicas e em estruturais e não-estruturais, o que favorece identificar até que ponto é possível aplicar para



cada sistema de acordo com seu tamanho e necessidades. Quanto às ações tecnológicas agrupam em cadastrar/gerenciar, medir e agir. Propondo o modelo de diagnóstico, levantamento de dados e então promover as ações para mitigar o problema das perdas.

A hierarquização das medidas facilita na implantação das mesmas tendo em vista que a sequência das ações colabora para a implementação eficiente e completa das mesmas. Dessa forma a hierarquia das ações metodológicas e humanas se inicia na definição de processos e demandas de capacitação segue para o planejamento, padronização e educação e por fim conclui-se em medição, controle, avaliação e padronização.

Quanto aos resultados, todos os protocolos se baseiam em índices de desempenho, que variam quanto ao objetivo de método para método e também quanto à forma de obtê-los, sendo em sua maioria através do balanço hídrico, comum em todos os protocolos estudados.

## 4.2. Protocolo Inicial – Diagnóstico

Caracterizando um sistema de pequeno/médio porte fictício semelhante aos encontrados em cidades do interior de Minas Gerais, com população aproximada de 30.000 habitantes, foram determinadas as seguintes características para adequação de uma metodologia propícia para a respectiva realidade, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Informações adotadas como padrão para o sistema trabalhado.

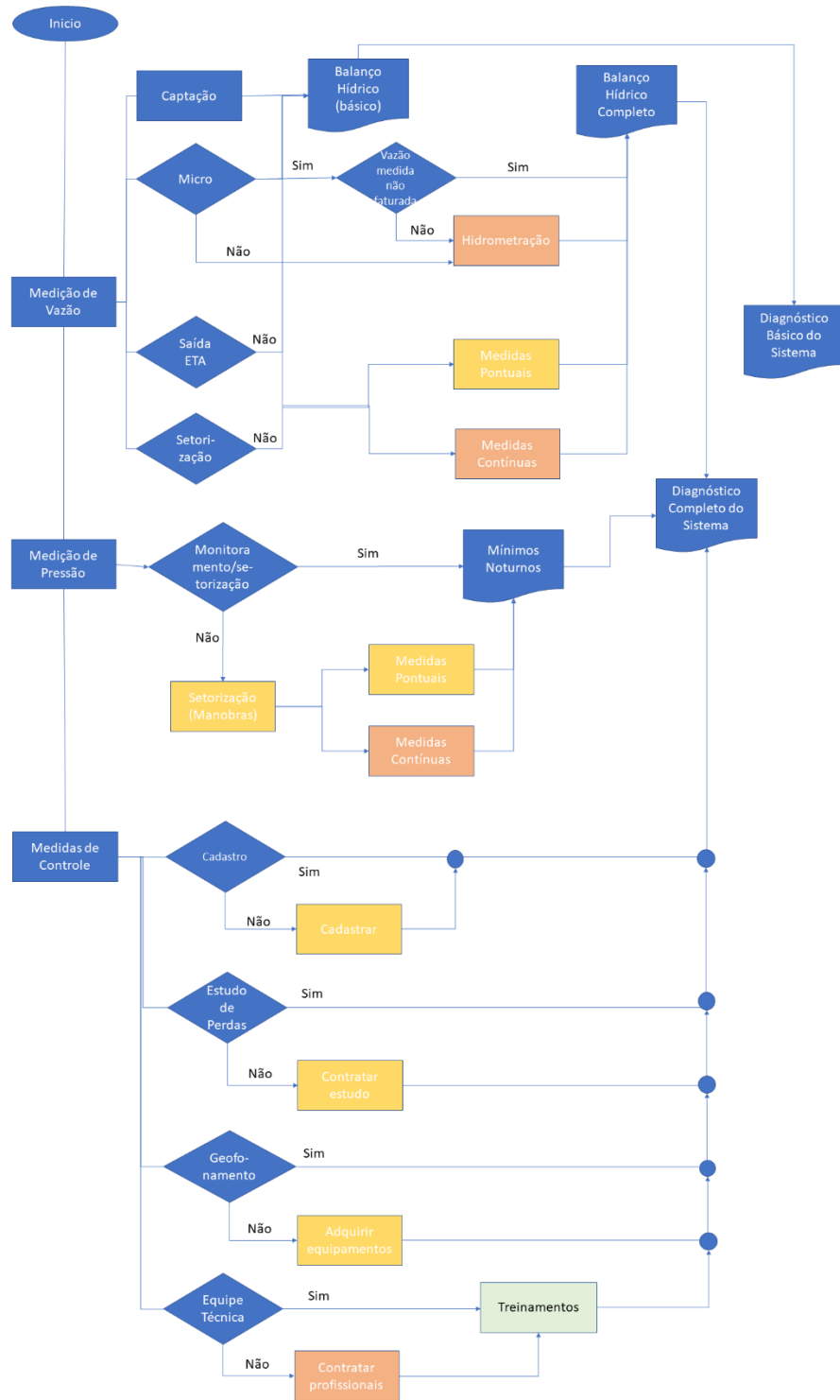
Levantamento preliminar	
Existe monitoramento de vazão ou já existiu?	Apenas entrada da ETA (calha parshall)
Existe monitoramento de pressão ou já existiu?	Não, apenas medições pontuais com manômetros manuais.
Já foram realizados estudos de perdas no sistema?	Não.
Possui cadastro das redes? (CAD, Epanet)	Sim, CAD.
Possui dados de saneamento georreferenciados?	Não.
Possui programa de geofonamento e investigação de vazamentos em campo?	Não.
Existem dados de perdas aparentes, vazamento de reservatórios?	Não.
Existem dados de volume de água faturada e medida?	Sim.
Existem dados de água não faturada medida e não medida?	Parcialmente.
Como é feita a manutenção de vazamentos?	Manutenção corretiva apenas.
São mapeadas as regiões com mais vazamentos?	Sim.
Possui equipe técnica de planejamento e melhoria do sistema?	Não.
São realizados treinamentos para qualificação da equipe técnica?	Não.
Existem válvulas redutoras de pressão instaladas no sistema?	Poucas.
São realizadas manutenções preventivas nas instalações de bombeamento?	Raramente.

Fonte: autor.

A partir da definição dos componentes do sistema e do diagnóstico do mesmo, foi proposto um protocolo capaz de auxiliar na gestão e controle de perdas, permitindo a

implantação de medidas de acordo com as possibilidades locais e econômicas do gestor, conforme disposto na Figura 20.

Figura 20 - Etapa de diagnóstico do protocolo de controle de perdas.



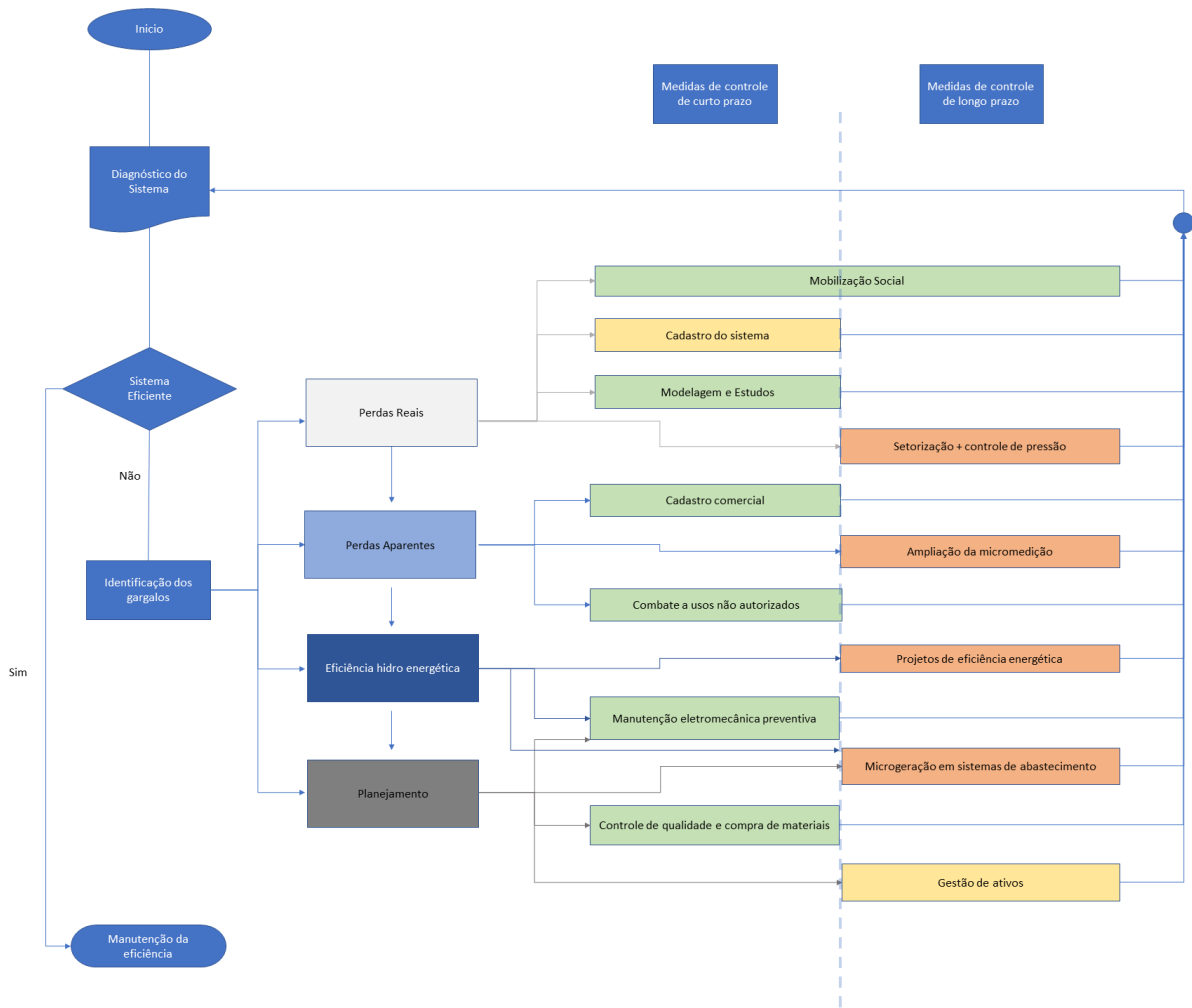
Fonte: autor.

As medidas propostas na Figura 21 foram classificadas de acordo com a viabilidade técnica e econômica, de modo que as ações em verde representam as mais viáveis de implantar, as ações em amarelo com viabilidade média e as ações em vermelho as de implantação mais complexa.

### 4.3. Protocolo Final – Medidas de Controle

A partir do diagnóstico, foi feito um fluxograma para implantação das medidas de gestão e controle de perdas. O fluxograma está disposto na Figura 21.

Figura 21 - Fluxograma de medidas de gestão e controle de perdas.



Fonte: autor.

Assim como a Figura 20, as medidas possuem cores de acordo com a viabilidade de implantação, mas foram divididas também em medidas de controle de curto prazo e de longo prazo.

A viabilidade foi estipulada com base na experiência de campo, levando em conta a complexidade para executar as ações, o conhecimento ou material que é necessário dispor para aplicá-las e o potencial custo que pode gerar para o gestor do sistema.

A metodologia consiste em ações focadas para sistemas considerados ineficientes, dividindo a atuação com foco nos gargalos que podem ser perdas reais, perdas aparentes, eficiência hidro energética e planejamento.

Para redução das perdas reais uma das ações de curto e longo prazo é a mobilização social, promovendo o uso consciente da água, regularização de ligações irregulares, fiscalização de vazamentos pela população, mostrando que todas essas ações retornam em um sistema eficiente para atendê-los, sem acréscimos nas contas.

O cadastro do sistema é uma medida essencial para orientar as medidas técnicas que serão tomadas. Pode variar entre um cadastro simples, com base em informações dos servidores que atuam nas obras do sistema sendo colocadas junto ao desenho da cidade, até um cadastro mais complexo envolvendo medidas georreferenciadas e com altimetria dos pontos de interesse e dispositivos do sistema como válvulas, reservatórios, elevatórias.

A elaboração de estudos e modelos hidráulicos pode ser implantada desde o início, porém sua qualidade vai depender da complementação com outras medidas como o cadastro e setorização.

Por fim, a medida mais eficiente e de maior complexibilidade de implantação quanto ao controle das perdas reais é a setorização do sistema e controle da pressão. Essa medida envolve separação física de trechos de rede, interligação de outros trechos, instalação de válvulas redutoras de pressão, registros, o que justifica a complexibilidade técnica e econômica para implantação, porém pode ser aplicada em etapas e costuma retornar resultados mais expressivos.

De modo a combater um sistema com deficiência na gestão de perdas aparentes, a medida inicial é o refinamento do cadastro comercial, de modo a entender a rede de usuários que estão cadastrados e incluir até os usuários que não são cobrados, mas precisam ter seus volumes medidos para controle.

Outra medida de alto custo, mas que pode ser aplicada em etapas é a ampliação da micromedição, e também a qualificação dessa micromedição, instalando hidrômetros em pontos públicos, que as vezes não são cobrados e por isso não são medidos, dificultando a detecção de vazamentos nesses pontos.

Uma medida de curto prazo a ser tomada no controle das perdas aparentes é o combate a usos não autorizados, buscando identificar ligações clandestinas, by-pass na rede. Tendo em vista o grande número de ligações irregulares em locais de vulnerabilidade econômica, pode-se prever uma política de tarifas sociais, ajudando na conscientização e no entendimento desses novos usuários que passariam a ser clientes regulares, gozariam dos benefícios de estarem regulares e com tarifas compatíveis com sua renda.

Quanto ao ponto de vista de um sistema deficiente hidro-energeticamente recomenda-se a aplicação de estudos para aplicação de medidas, prevendo sistemas de bombeamento mais eficientes e evitando bombeamentos quando possível. Além disso, quando o sistema permitir, poderão ser associados sistemas de microgeração aos sistemas de saneamento. Para aplicação da microgeração deverá ser feito um estudo detalhado de viabilidade. A microgeração no saneamento compreende, por exemplo, sistemas de bombas funcionando como turbinas em adutoras com desníveis muito altos, geração elétrica a partir do biogás em estações de tratamento de esgoto.

A manutenção eletromecânica preventiva permite manter a eficiência energética dos componentes eletromecânicos, evitando consumos desnecessários de água e energia.

Quanto ao gargalo no setor de planejamento de um gestor de sistema de saneamento, recomenda-se ações associadas com o setor de eficiência energética como estudos para implantação de microgeração e manutenção preventiva. Além dessas medidas, é necessário implementar uma diretriz quanto ao controle de qualidade e a compra de materiais, permitindo que os materiais que sejam implantados a partir da implantação do protocolo estejam de acordo com as características necessárias para o correto funcionamento e estabilidade do sistema.

A gestão de ativos torna-se peça importante quanto ao entendimento da tarifa cobrada pelo gestor. A gestão correta permite um retorno mais efetivo da tarifa e tarifas com valores mais fiéis à operação daquele sistema. Compreende estruturar processos para controle dos ativos, recadastrar os ativos existentes e adequar todo o cadastro técnico e controle patrimonial contábil às exigências da regulamentação.

A partir da implantação de medidas, o diagnóstico deverá ser feito continuamente, de modo que se um novo gargalo se apresentar, seja possível identificar e propor ações para solucioná-lo e realizar novo diagnóstico.

## 5. Conclusões e Recomendações

O conhecimento do sistema trabalhado e das técnicas disponíveis é fundamental para iniciar o controle e gestão das perdas em um sistema de abastecimento. Dessa forma, torna-se crucial o levantamento de todas as informações disponíveis de modo a entender quais as principais demandas e quais são viáveis de serem trabalhadas naquela realidade.

O investimento na gestão de perdas promove a eficientização do sistema e permite uma operação mais regular e sadia do sistema. A economia gerada pelo controle de perdas permite a continuidade da política de conservação de água, visto que se trata de uma ferramenta a ser aplicada continuamente e não pontualmente.

O protocolo proposto visa se adequar à cada situação e ser aplicado continuamente, prevendo alternativas que podem ser implementadas à medida que o gestor dispor de investimentos e de capacidade técnica para realiza-las. Dessa forma, entende-se que o protocolo cumpre seu objetivo de auxiliar na gestão de perdas em sistemas de abastecimento de pequeno e médio porte.

O modelo de gestão de perdas tem potencial para promover melhoras desde a gestão até a operação dos sistemas de abastecimento, compreendendo ações estruturais e não estruturais, permitindo que o gestor entenda a viabilidade para aplicar em seu sistema.

A conscientização da população, gestores de sistemas de saneamento e poder público, junto à fiscalização das agências reguladoras, são peças primordiais para fixação da cultura pela gestão e controle das perdas em sistemas de abastecimento de águas.

Com o novo marco do saneamento, Lei 14.026/2020, exigindo maior organização dos municípios e gestores dos sistemas, espera-se um crescente interesse e desenvolvimento na área da eficiência hídrica em sistemas de saneamento assim como o crescimento dos investimentos e oportunidades no setor.

Recomenda-se a aplicação do protocolo em cidade de porte semelhante ao proposto e visualização dos resultados de modo a ajuste e refinamento do protocolo adequando a dados de um sistema real.

## Referências

- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., & Parena, R. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. IWA Publishing, International Water Association.
- Almeida, E. P., Silva, F. d., & Valério, V. E. (2021). Losses in water distribution networks - a bibliometric review: general aspects and optimization. *Reserach, Society and Development*, 10(12).
- Azevedo, B. B. (2020). *Controle de perdas em sistemas de distribuição de água: a perspectiva da complexidade*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Porto Alegre: UFRGS.
- Beregula, R. L., & Silva, F. R. (2020). Equipamento de baixo custo para monitoramento em sistemas de abastecimento de água. *Eng. Sanit. Ambient.* v.25 n.6 nov/dez 2020 (pp. 809-820). Rio de Janeiro: ABES.
- Borges, V. M. (2004). *Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real, um estudo de caso: Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Candelieri, A., Archetti, F., & Messina, E. (2013). Improving leakage management in urban water distribution networks through data analytics and hydraulic simulation. *Water Resources Management VII*, pp. 107-117.
- Carpenter, T., Lambert, A., & McKenzie, R. (2003). Applying the IWA approach to water loss performance indicators in Australia. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(1-2), 153-161.
- Cianfanelli, M. M. (2012). *Escritório de gerenciamento de projetos: o caso sabesp no combate às perdas de água*. Dissertação de mestrado profissional em administração - gestão de projetos. Universidade Nove de Julho - UNINOVE. 2012.
- De Paola, F., Fontana, N., Galdiero, E., Giugni, M., Uberti, G., & Vitaletti, M. (2014). Optimal design of district metered areas in water distribution. *Procedia Engineering*(70), 449-457.
- Desta, W. M., Feyessa, F. F., Debela, S. K. Modeling and optimization of pressure and water age for evaluation of urban water distribution systems performance. *Helyon* 8. 2022.



- Freitas, C. L., Silva, F. d., Silva, A. Y., & Barbedo, M. G. (jan/fev de 2022). Análise de sistema de distribuição de água real no sul de Minas Gerais com o uso de sistema de informação geográfica. *Engenharia Ambiental e Sanitária*, 27(1).
- FUNASA - Fundação Nacional de Saúde (2014). *Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água*. Ministério de Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 2. ed. - Brasília, 2014. 172p. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/reducao\\_de\\_perdas\\_em\\_saa74.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf). Acesso em: 12 Maio. 2023.
- Giffoni, T. F. (2021). *Setorização em redes de distribuição de água: uma revisão bibliográfica sistemática*. Itajubá: Dissertação de Mestrado, UNIFEI.
- Gonçalves, E. (1998). *Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água - estudo de caso da CAESB*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília: Universidade de Brasília.
- Gonçalves, R. F. (2009). *Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES.
- Goulart, T. D. (2015). *Estudos de aprimoramento de algoritmo de calibração e aplicação em rede de distribuição de água de Cambuí (MG)*. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá.
- Heller, L., & Pádua, V. L. (2016). *Abastecimento de água para consumo humano* (4ª ed.). Belo Horizonte: UFMG.
- Internacional Water Association. (2004). *Performance indicators for water supply services*. Londres, Reino Unido: IWA Publishing.
- Kowalski, D., Kowalska, B., & Suchorab, P. (2022). Smart water supply system: a quasi intelligent diagnostic method for a distribution network. *Applied Water Science*, 12(135).
- Ministério das Cidades. (2018). *COM+ÁGUA.2 - Volume I: O projeto COM+ÁGUA.2*. Acesso em 04 de 08 de 2022, disponível em <http://www.snis.gov.br/downloads/publicacoes-acertar/perdas/Vol.1-ProjetoCom-mais-Agua.2.pdf>
- Nazaré, A. V. (2012). Modelagem e simulação do sistema adutor principal da bacia leiteira em Alagoas utilizando o EPANET. *Dissertação (mestrado em Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento)*, p. 206.

- Nogueira, F. P., Silva, F. G. B. (2023). Proposição inicial de protocolo tecnológico para melhoria no controle de perdas para aplicação em perfil de sistema de abastecimento de água de porte médio. *Scientific Journal ANAP*, v. 1 n. 3 (2023): Edição Especial - "Proceedings of the I Latin American Symposium on City, Architecture and Sustainability", ISSN 2965-0364
- Porto, R. M. (2006). *Hidráulica Básica* (4ª ed.). São Carlos: EESC - USP.
- Radivojevic, D., Blagojevic, B., & Ilic, A. (2020). Water supply system performance Improvement in the town of Pirot using water balance IWA methodology and numerical simulations. *Technical Gazzete*, 27, pp. 970-977.
- Ramos, H. M., McNabola, A., López-Jiménez, P. A., & Pérez-Sánchez, M. (2020). Smart water management towards future water sustainable networks. *Water*, 12, 58.
- Rocha, V. A., de Castro, M. H., & Araújo, J. K. (2011). Análise comparativa entre dois métodos de calibração aplicados à rugosidades de redes de distribuição: MIGHA e RNA. *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió: ABRH.
- Santos, A. (2010). *Estudo de calibração de uma rede de distribuição de água de Itajubá-MG utilizando algoritmos genéticos*. Itajubá: Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Itajubá.
- Santos, J. d. (2016). *Estudo de modelo de calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço-MG* (Dissertação de Mestrado (Engenharia de Energia) ed.). Itajubá: Universidade Federal de Itajubá.
- Serafeim, A. V., Kokosalakis, G., Deidda, R., Karathanasi, I., & Langousis, A. (2022). Probabilistic minimum might flow estimation in water distribution networks and comparison with the water balance approach: large-scale application to the city center of patras in western Greece. *Water*, 14, 98.
- Silva, A. C. (2019). *Estudo comparativo entre métodos de perda de água e parâmetros hidráulicos - análise do ciclo de vida e aplicação em rede do Sul de Minas Gerais*. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá.
- Silva, A. T., Silva, F. d., Silva, A. C., Reis, J. T., Freitas, C. L., & Valério, V. d. (2020). Proposoal of optimal operation strategy applied to water distribution network with statical approach. *Ambiente & Água*, 15(2).

SNIS. (2021). *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto*. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Brasília.

Stokes, J. R., Horvath, A., & Sturm, R. (2013). Water loss control using pressure management: life-cycle energy and air emission effects. *Environmental Science & Technology*, 47, 10771-10780. doi:dx.doi.org/10.1021/es4006256