

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hídrica

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS
PARA REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM
CIDADES INTELIGENTES – APLICAÇÃO A BENCHMARK**

Priscila Magela Gomes Silva

**Itajubá -MG
2025**

PRISCILA MAGELA GOMES SILVA

Viabilidade Técnica e Econômica de Tecnologias para Redução de Perdas de Água
em Cidades Inteligentes – Aplicação a Benchmark

Dissertação apresentada a
Universidade Federal de Itajubá, para
obtenção de título Mestra em
Engenharia Hídrica.

Area de concentração: Gestão
de Sistemas Hídricos

Orientador: Prof. Drº Fernando
das Graças Braga da Silva

Itajubá - MG
2025

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, por ter e concedido saúde, força e determinação ao longo dessa caminhada, permitindo-me alcançar esse título tão significativo. Sem Ele não teria conseguido.

Ao meu esposo Igor Feracini, que me acompanhou em todo o processo. Sempre esteve me ajudando e amparando em todos os aspectos. Meu companheiro, que confiou, acreditou e vibrou com cada conquista. Mesmo nos momentos mais difíceis, em situações nas quais acreditei que não estaria à altura, ele esteve ao meu lado me dando forças e acreditando na minha capacidade, sem você Igor, esse sonho não seria possível. Obrigada pelo amor e cuidado e por principalmente nunca desistir comigo.

A minha mãe Adelma Gomes e irmão George Magela, que sempre me apoiaram acreditaram em mim, em todos os meus sonhos. Apesar de estarem longe, obrigada por me acompanhar nessa conquista. Obrigada mãe pelo amor e cuidado incondicional. George obrigada por sempre me ouvir, e pelos conselhos sábios.

Ao professor Dr. Fernando Braga por toda orientação e suporte dado. Agradeço a disposição na orientação, das longas reuniões e dos ajustes de agenda, para cumprimento de todas as entregas. Sou grata pelas trocas e por todo o empenho e dedicação demonstrado ao longo desse ciclo.

Aos colegas do Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente Recursos e Sistemas Hídricos- NUMMARH, pelas trocas e contribuições feitas.

Aos colegas que ingressaram comigo no ano de 2023.1 do MPEH, pelas trocas acadêmicas e amizades feitas.

Ao corpo docente do MPEH que lecionaram com mestria. Foi uma honra participar do quadro discente. Obrigada por todo conhecimento adquirido.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma nessa trajetória.

RESUMO

O crescimento populacional tem implicações socioeconômicas e ambientais que podem provocar pressão nos recursos naturais, infraestrutura e serviços de saúde. Assim o papel de cidades inteligentes se torna imprescindível para a eficiência na gestão de recursos. A adoção de tecnologias sustentáveis, otimização de água, energia e transporte, é uma das premissas de uma cidade inteligente. O estudo apresentado nessa dissertação, busca por novas tecnologias vinculadas aos sistemas de distribuição de água, que incluem IoT, IA e Gêmeos Digitais, vinculando essas tecnologias a reduções de perdas no abastecimento. Com as etapas metodológicas inicialmente, foi levantado o custo das implementações tecnológicas, nas empresas existentes no Brasil. Posteriormente foi realizado a construção de um sistema Benchmark de um sistema de distribuição, hipotético com dados reais. Algumas premissas foram estipuladas para a análise, dentre essas, a premissa inicial dessa implantação reduziria as perdas em 10%. A verificação da análise foi discutida em 15 cenários, de forma a ampliar o máximo de tentativas possíveis no estudo. Sendo assim, foi possível avaliar sua rentabilidade na métrica do payback, enquadrando a maior redução de perdas. O resultado esperado é aquele que reduz maior porcentagem de perdas e um menor payback, ou seja, um menor tempo de retorno do investimento. O cenário 8 apresentou dados significativos, reduzindo 10% as perdas na distribuição, através da implantação de tecnologia voltada para medição inteligente de água, o cenário contempla com a implantação em 75% das ligações existentes e com um retorno no investimento – o payback- de 3 anos. Conclui-se que o payback de 3 anos para uma redução de perdas de 10%, é viável economicamente, visto que seu investimento inicial, seria retornado no terceiro ano de dez anos.

Palavras-Chave: Novas Tecnologias, Redução de Perdas, Payback descontado.

ABSTRACT

Population growth has socioeconomic and environmental implications that can put pressure on natural resources, infrastructure, and health services. Thus, the role of smart cities becomes essential for efficient resource management. The adoption of sustainable technologies and the optimization of water, energy, and transportation are some of the premises of a smart city. The study presented in this dissertation seeks new technologies linked to water distribution systems, including IoT, AI, and Digital Twins, linking these technologies to reductions in supply losses. With the initial methodological steps, the cost of technological implementations was surveyed in existing companies in Brazil. Subsequently, a benchmark system was built for a hypothetical distribution system using real data. Some assumptions were made for the analysis, among which was the initial assumption that this implementation would reduce losses by up to 10%. The analysis was verified in 15 scenarios in order to maximize the number of attempts in the study. Thus, it was possible to evaluate its profitability in terms of payback, framing the greatest reduction in losses. The expected result is one that reduces the highest percentage of losses and has the lowest payback, i.e., the shortest return on investment. Scenario 8 presented significant data, reducing distribution losses by up to 10% through the implementation of smart water metering technology. The scenario contemplates implementation in 75% of existing connections and a return on investment (payback) of 3 years. It can be concluded that a payback period of three years for a 10% reduction in losses is economically viable, since the initial investment would be recouped in the third year of a ten-year period.

Keyword: New Technologies, Loss Reduction, Discounted Payback,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de Água	16
Figura 2 – Possíveis pontos de perdas no abastecimento	17
Figura 3 – Relação das Perdas no abastecimento de acordo com o SNIS	20
Figura 4 - Comparativo dos volumes com a implementação das VRP's	21
Figura 5 - Modelo de sistema inteligente de água	38
Figura 6 - Etapas de desenvolvimento do projeto	41
Figura 7 - Esquema do Sistema Benchmark	47
Figura 8 - Correlação entre o valor livre e o prejuízo financeiro	56
Figura 9 - Período de Payback por Cenário	59
Figura 10 - Período do Payback para o Cenário 8	60
Figura 11 - Correlação por cenário entre o Payback Reduzido e a Redução de Perdas	63
Figura 12 - Enquadramento das reduções de perdas por cenário	64
Figura 13 - Payback em anos por cenário	64
Figura 14 - Comparativo Cenário atual benchmark X Cenário 8	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do sistema Benchmark	46
Tabela 2 - Correlação entre o investimento necessário e o índice de perdas do sistema benchmark – Estimativa de Preço.....	47
Tabela 3 - Apresentação Institucional da Companhia de Saneamento de São Paulo - SABESP sobre os indicadores operacionais para o ano 2023.....	48
Tabela 4- Sistema Benchmark	50
Tabela 5 - Porcentagem de Implantação por Investimento	52
Tabela 6 - Cenários x Implantação da Tecnologia	60
Tabela 7 – Identificação dos cenários do estudo	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais vantagens em automação de redes de distribuição	42
Quadro 2 - Resumo da aplicação IA nas redes de distribuição de água	43
Quadro 3 - Tecnologias Utilizadas no Âmbito Internacional	44
Quadro 4 - Identificação do escopo das tecnologias a serem implantadas	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNIS-Sistema Nacional de informação do Saneamento

TIC-Tecnologia da Informação

IoT-Internet das Coisas

IA- Inteligência Artificial

SAA-Sistemas de Abastecimento de Água

IWA - *Internacional Water Association*

VRP- Válvula Redutora de Pressão

PPPs – Parcerias Públicos Privadas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivo Específico	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Sistemas de Abastecimento de Água- SAA.....	16
3.2	Perdas de água em sistemas de distribuição e eficiência hídrica.....	17
3.3	Cidades Inteligentes	21
3.3.1	Conceitos.....	21
3.3.2	Segurança em cidades inteligentes	23
3.3.3	Cidades inteligentes como ferramenta de estratégia de desenvolvimento	24
3.3.4	Cases de cidades inteligentes	25
3.4	Técnicas de otimização em recursos hídricos aplicada a cidades inteligentes 26	
3.4.1	Aplicação de otimização	26
3.5	Técnicas de otimização em cidades inteligentes	27
3.5.1	Otimização de energia	27
3.5.2	Otimização a gestão de resíduos	27
3.6	Técnicas inovadoras relacionadas a cidades inteligentes a sistemas de abastecimento de água	28
3.6.1	Definição de Técnicas inovadoras	28
3.6.2	Automação de processos	28
3.6.3	Inteligência artificial	29
3.6.4	Internet das coisas.....	30
3.6.5	Gêmeos Digitais	30
3.6.6	Tecnologia de comunicação via rádio.....	31

3.6.7	Rede de sensores sem fio	32
3.6.8	Modelagem Hidráulica	32
3.7	Panorama mundial das tecnologias atuais em SAA	34
3.7.1	Comunidade Europeia - Alemanha	34
3.7.2	Comunidade Europeia - Itália	34
3.7.3	América do Norte - Estados Unidos	35
3.7.4	Ásia - Japão	36
3.8	Panorama nacional das tecnologias atuais em SAA	36
3.9	Análise de viabilidade técnico econômica.....	39
4	METODOLOGIA.....	41
4.1	Etapa 1– Identificação das abordagens do estudo	41
4.2	Etapa 2 – Estratégia de seleção	45
4.3	Etapa 3 – Construção do Sistema Benchmark	46
4.3.1	Identificação das premissas.....	47
4.3.2	Coleta de dados base	48
4.3.3	Finalização do Sistema Benchmark.....	49
4.4	Etapa 4 – Quantificação de tecnologias adotadas	51
4.5	Etapa 5 – Definição dos cenários para análise	52
4.6	Etapa 6 – Análise da viabilidade técnico econômica	53
5	RESULTADOS	55
5.1	Avaliação dos itens do escopo da implantação	56
5.1.1	Cálculo da Economia Anual.....	56
5.1.2	Cálculo do Payback simples	57
5.1.3	Cálculo do Payback descontado.....	57
5.1.4	Identificação dos 15 cenários	60
5.1.5	Considerações dos resultados obtidos	62
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	66

7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
8	ANEXO A – CÁLCULOS.....	78
8.1	Cálculo do Consumo Total.....	78
8.2	Cálculo do Custo Operacional	78
8.3	Cálculo do Prejuízo Financeiro	78
8.4	Cálculo do Valor livre	78
8.5	Cálculo da Economia para os cenários 2 e 8.....	78
8.6	Cálculo do Payback simples para o Cenários 2 e 8.....	78

1 INTRODUÇÃO

A problemática do crescimento populacional em relação aos recursos hídricos é um assunto relevante em todo o mundo. Isso porque água é um recurso finito e possui baixa disponibilidade para o consumo.

Dados das Nações Unidas indicam que até 2050 o mundo terá cerca de 9,7 bilhões de habitantes, dos quais 66% viverão em áreas urbanas, exigindo um gerenciamento eficiente da vida urbana (PIXFORCE, 2024).

Segundo o Sistema Nacional de informação do Saneamento-SNIS, para o ano de referência de 2023, o Brasil ocupava o 37º no índice de perdas no abastecimento, o que ainda é um quadro preocupante, visto que existe uma gama de recursos e profissionais capacitados e em processos de capacitação.

Diante disso é fundamental uma gestão sustentável para enfrentar esses desafios, implementando práticas de conservação e conscientização ambiental. Surge a necessidade de tornar uma cidade sustentável e consequentemente uma cidade inteligente.

Uma cidade inteligente é aquela que usa tecnologia da informação - TIC com o objetivo de melhorar sua habitualidade, sustentabilidade aumentar a eficiência dos serviços urbanos. A cidade inteligente, gerencia o espaço geográfico, utilizando infraestruturas conectadas com sensoramento via Internet das coisas - IoT. Também possuem recursos a fim de otimizar o consumo de energia, água e reduzir os impactos ambientais. O uso de novas tecnologias traz consigo uma melhor qualidade de vida, que é uma das premissas de uma cidade inteligente, também ser uma cidade sustentável e inclusiva (CARVALHO *et al.*, 2020).

A inovação tecnológica em sistemas de abastecimento está inteiramente ligada ao conceito de cidades inteligentes, visto que em uma das vertentes do conceito cidades inteligentes é a inserção de tecnologias impulsionada ao crescimento sustentável.

A eficiência hidro energética, que impulsiona maneiras que visam otimizar o uso dos recursos hídricos, também atua na minimização de perdas no abastecimento. Isso porque se enquadra no uso de gestão de energia.

Algumas ferramentas tidadas como tecnológicas são utilizadas no mundo, como é caso dos softwares avançados de modelagem hidráulica, que permite simular cenários de abastecimento de água e analisar seu comportamento. No presente estudo da dissertação são abordados dois softwares o Epanet e o WaterGEMS, ambos com amplos recursos, objetivando melhorias no abastecimento.

As tecnologias sem fio vinculadas a medição inteligente também fazem parte dos sistemas de água inteligentes. Essa ferramenta possui em seus recursos excepcionais baixa potência e longo alcance, além de fornecer interoperabilidade entre os dispositivos inteligentes. O sistema de medição inteligente, usa uma caixa coletora do medidor mecânico, que foi projetado para não desperdiçar o medidor antigo (PHONG et al.,2022).

Com o intuito de analisar as tecnologias viáveis no levantamento, a dissertação tem por objetivo analisar a viabilidade econômica de um cenário fictício parametrizado, numa tentativa de prever resultados positivos com relação as métricas de payback simples e descontados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica e financeira de implantação de tecnologias voltadas a cidades inteligentes, objetivando a redução de perdas no abastecimento de água baseado no cenário do brasileiro.

2.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos são:

- Montar um levantamento sobre tecnologias de viabilidade de aplicação em eficiência hídrica e cidades de inteligentes;
- Construir um sistema Benchmark de água para análise;
- Analisar a viabilidade financeira de implementação tecnologias de cidades inteligentes a sistemas de abastecimento adequada a realidade brasileira.

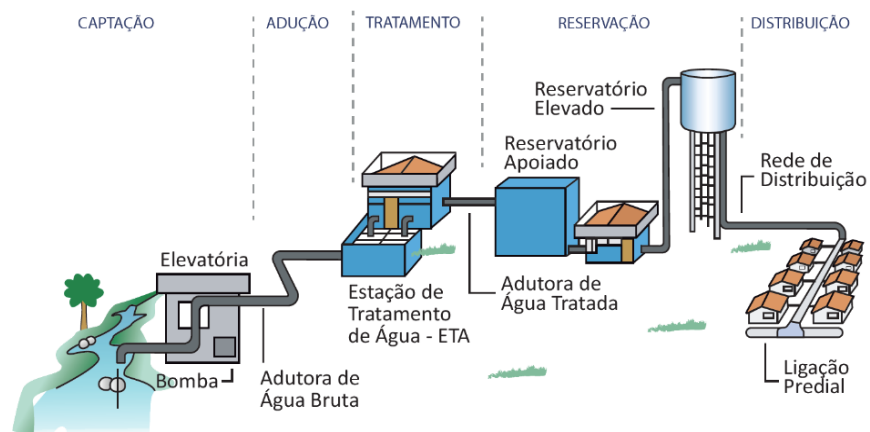
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sistemas de Abastecimento de Água- SAA

Segundo Porto (2006), o sistema de abastecimento de água é definido como o conjunto de tubulações, acessórios e bombas que tem como função atender as condições sanitárias da demanda, garantindo vazão e pressão convenientes aos pontos de consumo de uma cidade ou de um setor de abastecimento.

No sistema de abastecimento pode-se dividir em quatro fases: A captação, o Tratamento, o Centro de Reservação e a Distribuição, conforme exemplo a Figura 1.

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de Água



Fonte PMSB (2023)

O processo de captação envolve equipamentos que captam a água em seu estado natural, e transportam através de adutoras, a captação pode ser superficial (através de mananciais) ou submersa (de poços artesianos).

Em seguida é realizado o tratamento adequado e enviada aos centros de reservação, onde é armazenada para a distribuição.

O abastecimento ocorre por redes de distribuição, que conta com diversos dispositivos e singularidades, a fim de adaptar a topologia do município.

Por fim, a água chega aos consumidores, através do ramal domiciliar, onde é contabilizado nos hidrômetros, que comumente é chamado na engenharia do saneamento de ligações.

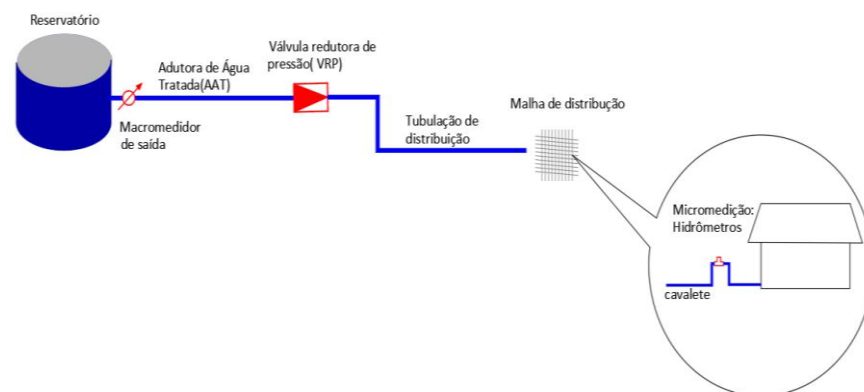
3.2 Perdas de água em sistemas de distribuição e eficiência hídrica

As perdas no sistema de abastecimento de água (SAA) são classificadas em perdas aparentes, que consiste em consumo não autorizado, devido a imprecisões de medição ou da leitura errônea dos hidrômetros (SANTOS; MONTENEGRO,2013).

Já as perdas reais consistem na água perdida por vazamentos, fissuras na tubulação, estouros, ocasionado devido ao desgaste da tubulação ou alta pressão, pode ocorrer no centro de reservação ou no trajeto da distribuição até o ponto de medição (SABESP,2023).

A Figura 2 ilustra um sistema de distribuição de água fictício, e as principais pontos de perdas físicas encontradas desde a saída do centro de reservação até a micromedição

Figura 2 – Possíveis pontos de perdas no abastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Segundo Junior; Vavatuk (2023), apud. Kingdom (2006) foi elaborado um relatório do Banco mundial trazendo a afirmativa de que a cada ano mais de 32 bilhões de m³ de água tratada são perdidas por vazamentos, sendo que 16 bilhões de m³, é perdido e não contabilizado muitas vezes devido a problemas de medição ou fraudes.

Os tipos de vazamentos são classificados vazamentos visíveis que são aqueles que afloram à superfície, já os não visíveis são aqueles que não afloram, que necessitam de equipe técnica para o seu descobrimento, e as ações concentram-se em varreduras nas redes de distribuições e nos ramais, a partir de haste de escuta e geofone (SABESP,2024).

A procura por sistema estanques, com pressões estáveis, é algo constantemente buscado nas companhias de abastecimento, motivado diminuição do índice de perdas. O aumento da demanda de água e a crise hídrica, acelera o pensamento de novas estratégias para redução de perdas no abastecimento (WIETZEKE JUNIOR *et al.*,2022; KUSTERKO *et al.*,2018).

Uma das problemáticas encontradas nos serviços públicos de abastecimento é a falta de gestão da perda de água. Os serviços de abastecimento devem atender a demanda qualitativamente e quantitativamente. Porém muitos países em desenvolvimento enfrentam dificuldades significativas com relação a capacitação de profissionais e falta de habilidade mecânica para gerir os equipamentos necessários (AL- BULUSHI; SULTI; ABUSHAMMALA, 2018).

Na comunidade Cachoeira dos Gonçalves sul do Ceará, foi registrada perda anual de 57,4% superando a média estadual de 45,5%. O índice elevado de perdas, é causado por superdimensionamento das bombas, que por consequência ocasiona vazamentos, além disso existe deficiência na equipe técnica na operação e manutenção (MONTEIRO *et al.*,2020).

Para diagnóstico das perdas nos sistemas de distribuição de água a IWA *Internacional Water Association* recomenda a utilização do balanço hídrico. A fim de mitigar as perdas no abastecimento segundo IWA as perdas são divididas em perdas aparentes e reais (PINTO *et al.*,2023).

A metodologia IWA, se enquadra como indicador de desempenho para sistema de abastecimento de água. A aplicação da metodologia resulta em inúmeras vantagens como monitorar os efeitos de cada tomada de decisão e destacar os pontos negativos e positivos (ALVES, 2018).

O Quadro 1 ilustra o balanço hídrico utilizando a *metodologia Internacional Walter Associativo - IWA*

Quadro 1 - Balanço Hídrico via Metodologia IWA

Volume de entrada na distribuição	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado	Água faturada
			Consumo não medido faturado	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado	Água não convertida em receita
			Consumo não medido não faturado	
	Perda de água	Perdas aparentes	Consumo não autorizado	
			Imprecisão de medição	
		Perdas reais	Vazamento e extravasamento em reservatórios	
			Vazamento em adutoras e redes	
			Vazamento em ramais	

Fonte: Adaptado de Bezerra e Cheung (2013).

Além de fácil compreensão a metodologia IWA é fundamental para a estruturação dos índices de perdas. A medição do balanço hídrico é vinculada abordagem *Top-down*, onde é feito a varredura das perdas de cima para baixo. O rateio de perdas é gerado a partir informações fornecidas pelo prestador. Para tanto é necessário que os distritos de medição estejam estanques, e que haja devida setorização (MADEIRA; PENA, 2020).

Existem outros métodos de avaliação de perdas de água, como a análise de fluxo noturno mínimo que consiste na análise de zonas de medição isolada no período noturno em horários estabelecidos que são identificados vazamentos naquele distrito de medição, no entanto é necessário investimentos em equipamentos e conhecimento técnico aplicado (AL-WASHALI., *et al* 2019).

Para a caracterização das perdas, são feitos indicadores de desempenho, a fim de se ter embasamento na medição. A forma de medir depende do nível de desenvolvimento de cada concessionária. O SISPERDAS disponibiliza os seguintes índices: Índices de perdas totais por ramal na distribuição, índice de perdas na micromedição, índice de perdas de faturamento, Índice de perdas reais de faturamento, índice de perdas aparentes e índices de perdas reais. No âmbito nacional existem 84 indicadores econômico-financeiro e administrativo (FUNASA, 2014).

À medida que se faz eficaz, enquanto ferramenta de melhoria de desempenho nos SAA, a aplicação de modelo do tipo Benchmarking unifica resultados dos indicadores de perdas de várias localidades do mundo e seus principais avanços e retrocessos (MARQUES *et al.*, 2021).

O Brasil ocupa um quadro de crise hídrica, poluição generalizada e conseqüentemente pouca disponibilidade dos mananciais, em destaque os superficiais, que são os maiores reservatórios de disponibilidade hídrica (PEREIRA; TINOCO, 2021).

Em concordância Claudino et al. (2021) afirmam preocupante, o quadro da crise hídrica, e detalham que na região do semiárido do Brasil, em seu balanço hídrico se enquadra como deficitário, visto que a precipitação média anual é continuamente menor que a evaporação potencial que intensifica a preocupação dos autores, é a demanda crescente populacional nos níveis de industrialização e urbanização como uma das principais regiões onde as perdas se concentram.

Segundo o ranking internacional do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS, que avaliou em 2023 o índice de perda de 43 países, o Brasil ocupa a vigésima posição, com um índice de perdas de 37,8% (SNIS, 2023)

A Figura 3 representa o IN049, índice de perdas na distribuição de água. Segundo o SNIS (2023). É possível observar a grande diferença entre as regiões brasileiras, em destaque o Norte do Brasil apresenta maior índice de perdas.

Figura 3 – Relação das Perdas no abastecimento de acordo com o SNIS



Fonte: SNIS (2023)

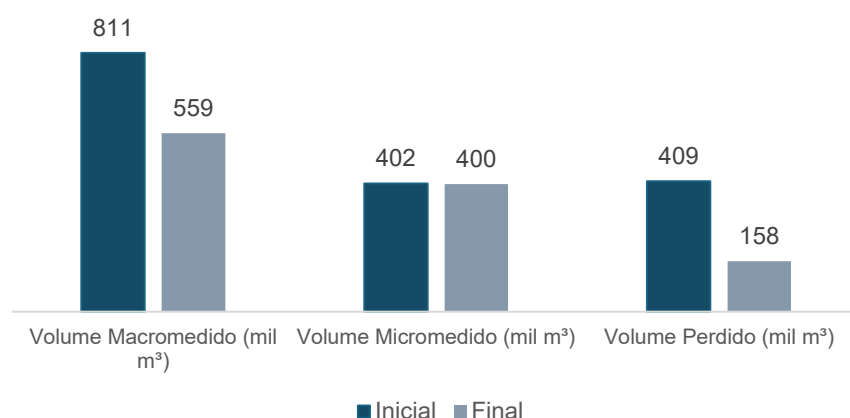
O Índices de perdas é um instrumento que garante transparência para a racionalização. É apontado que redução de perdas se torna eficaz através da

setorização das cidades, controle e pesquisa de vazamentos, controle de pressão e gestão da infraestrutura (FIGUEREDO *et al.*, 2023).

O combate de perdas no abastecimento é feito através de estudos e adequação utilização de modelagem hidráulica para simulação de cenários e consequentemente controle de pressões. A instalação de válvulas redutoras de pressão com controle tecnológico e uso de medidor, contribui para a redução do volume perdido e diminuição de áreas de abastecimento intermitentes (DUTRA; OLIVEIRA, 2017).

Dutra e Oliveira (2017) afirmam a importância da instalação de VRP's para diminuição de perdas no abastecimento, A Figura 4 ilustra o comparativo dos volumes antes e após a implementação de VRP's .

Figura 4 - Comparativo dos volumes com a implementação das VRP's



Fonte: Adaptado de Dutra e Oliveira (2017)

3.3 Cidades Inteligentes

3.3.1 Conceitos

O conceito de cidade inteligente pode ser definido como um ambiente que usa de forma predominante a tecnologia, possibilitando a transformação do espaço social, possibilitando uma aproximação entre as pessoas (CURY; MARQUES, 2017).

Entretanto, Oliveira e Vieira (2023), afirmam que não é possível mensurar a definição de uma cidade inteligente, mediante as características administrativas econômicas e sociais, que são únicas e possuem prioridades específicas.

As cidades inteligentes possuem metas de sustentabilidade, o que torna uma cidade inteligente, na grande maioria das vezes sustentável. Os desafios de um desenvolvimento de uma cidade inteligente estão relacionados à urbanização e à implantação de novas tecnologias vinculados a projetos de investigação pública. O conceito de cidade inteligente está centralizado na intersecção entre energia, transporte e tecnologia da informação (AHVENNINEMI *et al*, 2017).

No século XXI, as cidades inteligentes se tornaram uma alternativa viável, em resposta aos desafios encontrados pelas áreas urbanas do mundo. O aumento da demanda por serviços de infraestrutura, crescimento desordenado da população, falta de gestão pública e deficiência nas questões ambientais, entrelaçam os governantes. O espaço urbano que utiliza TIC tem proveito de um desenvolvimento sustentável da população e conseqüentemente o melhoramento da qualidade de vida da população, define uma cidade inteligente (ISEKI; FIGUEREDO, 2021).

O conceito de cidade inteligente está ligado ao avanço das tecnologias digitais, que começou a se alavancado no início dos anos 2000, seguindo das primeiras implantações de soluções voltadas para cidades inteligentes, como instalações de sensores para monitoramento do ar e uso de tecnologias para melhoramento de iluminação pública (WEIS; BERNADES; CONSONI, 2017).

Iniciativas para o desenvolvimento e investimento em cidades inteligentes aumentaram em todo o mundo. Eficiência ambiental, segurança e sustentabilidade controlados e monitorados por sistemas inteligentes, beneficia a população que está ligada ao conceito de cidades inteligentes. Cingapura, Londres, Barcelona, Dubai oferecem muitas iniciativas em áreas urbanas a fim de tornar a cidade inteligente, serviços de transporte, segurança, resíduos e governança (KUMARY *et al.*, 2020).

Parcerias entre poder público e privado e instituições acadêmicas tem aprimorado o avanço das cidades inteligentes. No Brasil as Parcerias Público Privadas (PPPs) estabelecida pela lei federal nº11.079/2004, avançam como facilitador de serviços de inovação tecnológica. As PPPs desempenham um papel fundamental no jurídico financeiro, que entra como facilitador dos investimentos e desoneração de cofres públicos (REIA; CRUZ, 2023).

Na atual conjuntura visando garantir maior igualdade, qualidade de vida e um ambiente sustentável, é esperado um avanço na implantação de novas tecnologias em cidades inteligentes. Nesse caso é imprescindível uma gestão sábia de recursos naturais com uma governança participativa (RIBAS; CARLI, 2022).

O enquadramento sobre sustentabilidade converge a definição de uma cidade inteligente a atenção voltada para as questões sociais, ambientais e econômicas que também são definições de uma cidade sustentável. As cidades podem ser sustentáveis sem uso de TIC, e as cidades podem ser inteligentes sem ser sustentável, o desenvolvimento urbano está ligado a conscientização da população que é o ponto fundamental para algo mais assertivo (JUNIOR; DUENHAS, 2020).

É importante destacar que adoção de tecnologias voltadas a cidades inteligentes, não soluciona todos os problemas das cidades, mas podem mitigar a precariedade de transportes públicos, saúde, abastecimento de água e coleta de esgoto, a fim de trazer resultados que melhorariam a qualidade de vida dos cidadãos (RIBAS; CARLI, 2022).

3.3.2 Segurança em cidades inteligentes

Existe uma grande quantidade de informações que deve ser protegida nos sistemas tecnológicos. As cidades inteligentes possuem dados sigilosos, que poderiam trazer consequências gravíssimas e até mesmo colapsar o sistema inteligente (Wu *et al.*, 2018).

O vazamento da proteção de dados dos habitantes é um dos riscos intrínsecos à implementação de uma cidade inteligente. Deve ser considerado uma proteção contra eventuais ataques cibernéticos que degradam a integridade e a privacidade dos cidadãos. Para isso é proposto um sistema de blockchain, para garantir a proteção de dados pessoais (DIVINO; MAGALHÃES, 2022).

Segundo Toh (2020), Para que haja uma proteção é necessário conhecimento sobre os ativos de uma cidade inteligente e os principais tipos de ataques. O ataque ao abastecimento de água é algo preocupante aos governantes, esse ataque pode ser tanto no transporte de água quanto nos centros de reservação, isso porque água é um elemento essencial para sobrevivência humana.

A proteção contra-ataques cibernética, requer uma lista de recomendações de acordo com a Agência da União Europeia (LÉVY-BENCHETON; DARRA, 2015).

- Uso de VPNs
- Uso de proteção física;
- Instalação de alarmes de vigilância;
- Manutenção de backups;
- Uso de sistemas de detecção de rede;
- Monitoramento de acesso.

3.3.3 Cidades inteligentes como ferramenta de estratégia de desenvolvimento

Existe uma análise estratégica entre as empresas multinacionais que investem fortemente em tecnologia, que impulsiona as autoridades municipais e regionais a busca por melhoramento do desempenho e adaptação local, diante dessa nova tecnologia (CARAGLIU; DEL BO, 2018).

Os países estão se aprimorando no processo de exploração tecnológica relacionados a cidades inteligentes. Houve registros mais atuantes na jurisdição internacional de registro a patentes. Entre os pedidos compreendidos nos anos de 2006 a 2016, destacou-se 88.225 pedidos referentes a redes de comunicação sem fio (CIPs H04W), sistemas de controle de tráfego (G08g) e intercessão entre as elas. Os países mais atuantes envolvidos em proteção patentária para novas tecnologias voltadas a cidades inteligentes foram Alemanha, China, Estados Unidos e Japão (ISEKI; FIGUEREDO, 2019).

As políticas públicas atuam como impulsionadores em cidades que se desejam tornar uma cidade inteligente. A fim de promover desenvolvimento tecnológico foi previsto em 2018 a criação de fundo municipal destinados a inovação e tecnologia permitindo uma infraestrutura tecnológica de alta qualidade, capacidade de transmissão e segurança (DE SÁ; REZENDE, 2019).

Em 2023 o prêmio de cidade sustentável foi concedido cidade de Curitiba no Brasil. O programa “fala Curitiba”, objetiva a participação da população através de tomada de decisões das peças orçamentárias do município além do apoio ao instituto de administração pública. A implantação da plataforma demonstra que os meios tecnológicos permitem debates e complementação a tomada de decisões que pode ser feita presencial ou remotamente. (FERREIRA; COELHO,2021; SMARTCITY,2024)

Sancino e Hudson (2020) avaliaram cidades inteligentes em Amsterdã na Holanda, possui projetos ativos com o intuito de acelerar os processos de cidades inteligentes. Incentivam a participação dos cidadãos para testar novas tecnologias. Em Bristol, localizada na Inglaterra, conta com uma rede de pesquisa e desenvolvimento de infraestrutura digital financiada pelos governos locais. Bristol se destaca pelo foco na sustentabilidade, objetivando a redução de emissões de carbono por meio de energia inteligente, e iniciativa de transporte inteligente. Atua também com programas inclusivos voltados à comunidade.

Em Chicago a proposta de eletricidade inteligente está em vigor. A infraestrutura elétrica conta com rede inteligente que garante inúmeros benefícios como menos interrupções na distribuição de energia elétrica, economia de preço aos clientes, e sistemas do tipo retrofit, a fim de alçar eficiência energética (CHICAGO,2024).

3.3.4 Cases de cidades inteligentes

3.3.4.1 Hong Kong

O Governo de Hong Kong estabeleceu uma série de questionários, visando entendimento dos cidadãos, frente ao desenvolvimento de cidades inteligentes. Devido à falta de confiança dos cidadãos de Hong Kong, frente ao governo e as autoridades públicas, a avaliação apresentou resultado negativo, mesmo que Hong Kong ocupe uma classificação elevada nos índices de desempenho. (LAI; COLE,2022).

Em 2020 o governo de Hong Kong propôs medidas para transformá-la em cidade inteligente. Os contextos emergentes se enquadram em sustentabilidade, governação e uso de tecnologias. Uma entrevista coletiva demonstrou satisfação na tecnologia inteligente, como pagamento eletrônico universal, cartão de identificação inteligente e segurança inteligente (COLE *et al.*,2023).

O governo de Hong Kong, conta com mais de 70 iniciativas para plano de cidade inteligente, com o objetivo de aumentar a eficácia da gestão da cidade e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. O projeto inclui algumas modalidades, dentre elas: mobilidade inteligente, que permite uma melhora na gestão do tráfego, e implantação de parquímetros com inteligência que permitem pagamento de taxas de estacionamento por vários meios digitais, com informações em tempo real, a fim de

ajudar os motoristas a encontrarem vagas disponíveis, diminuindo o congestionamento do tráfego (TOH, 2020).

Hong Kong conta com sistema de transporte público inteligente de última geração, que permite o monitoramento do tráfego, o sistema de pagamento pode ser feito via cartão inteligente (Octopus Card), que além de acessar o transporte público, também pode ser usado em lojas, restaurantes e cinemas. A gestão de resíduos sólidos inteligentes também é uma implantação tecnológica, os recipientes contam com sensores que alertam quando os recipientes de resíduos estão cheios, otimizando as rotas de coleta (WU; MA, 2022).

3.3.4.2 Dubai

Dubai é uma das cidades pioneiras no conceito de cidades inteligentes. A principal identidade de Dubai é a inserção de infraestrutura física e digital que se conectam aos cidadãos, que consiste em edificações inteligentes, transporte inteligente, sistemas de abastecimento de água inteligente e energia inteligente (VIRTUDES, 2017).

A cidade de Dubai, objetiva ser a cidade que tem um impacto positivo, em seu elevado padrão e a qualidade de vida, dos que residem nela. Sendo os dois pilares da cidade inteligente estão: economia inteligente e o turismo inteligente (JAWAD, 2019).

Dubai enfrenta alguns desafios temidos pelos governantes, o caso de ameaças à segurança digital e a segurança contra-ataques cibernéticos. Existe uma necessidade de defesa com modernas tecnologias em toda sua infraestrutura (EFTHYMIPOULOS, 2016).

3.4 Técnicas de otimização em recursos hídricos aplicada a cidades inteligentes

3.4.1 Aplicação de otimização

Existe uma infinidade de resultados encontrados em modelos de otimização em sistemas de abastecimento. Sendo eles: determinação da configuração mais eficiente nas tubulações, minimizando os custos de instalação e operação e maximizando a eficiência na distribuição, otimização nos parâmetros de vazamentos, otimização do

fluxo da água que permite gerencia as pressões nas redes e otimizações de troca ou reforço de redes levando em conta o crescimento populacional (LENAES; SIMUKONDA; FAMANI,2024).

Baseado na localização de fugas no abastecimento. Foi utilizado o modelo Epanet 2.2, como ferramenta que foi levantado a topologia da rede, levantamento de dados de campo, o consumo por nó (ligação) e a calibração da rede, concluído o processo (GUMIER; JUNIOR, 2007)

O modelo de otimização baseado em criação de otimização para operações de bombas de abastecimento de água, consiste em encontrar uma solução ótima para a operação das bombas. Na construção do modelo, foram permitidas duas técnicas a programação linear e algoritmos evolutivos. A variável de decisão do modelo consiste no tempo de funcionamento da bomba. A programação linear obteve soluções de baixo custo com rapidez, já o modelo aplicado a algoritmos não foi eficiente, foi considerado lento e com pouco tempo de processamento (KENENEDY, 2020).

3.5 Técnicas de otimização em cidades inteligentes

3.5.1 Otimização de energia

Um estudo feito por Humayun, Alsaquer,e Jhanjhi (2022) investigaram o problema de otimização multicritério em uma cidade inteligente, com o objetivo de minimizar a energia e o atraso no nível do IoT. O estudo desenvolveu 3 tipos de camadas (lot, borda e nuvem) foram feitas simulações a fim de solucionar o problema.Foi observado uma alocação nos serviços de computação de borda superou os outros serviços constando apenas 7% de atrasos computacional com 200 tarefas.

A otimização de energia em uma cidade inteligente pressupõe um sistema de energia verde, que objetiva a economia de serviços de iluminação pública, painéis e residências inteligentes, usando sensores de detecção de movimento conectados a dispositivos inteligentes (HUMAYUN; ALSAQER; JHANJHI,2022).

3.5.2 Otimização a gestão de resíduos

A utilização de técnicas de otimização ligadas a gestão eficiente de resíduos é necessária para cidades sustentáveis que visa otimizar roteiros de transporte, com base na minimização de consumo de combustíveis. Foi realizado no Distrito Federal

um estudo de otimização por programação linear binária, que reduziu em 8,4% no consumo de combustíveis (SILVA; CONTREARAS, 2020).

3.6 Técnicas inovadoras relacionadas a cidades inteligentes a sistemas de abastecimento de água

3.6.1 Definição de Técnicas inovadoras

O abastecimento de água é crucial na infraestrutura urbana, dados das Nações Unidas afirmam que até 2050 teremos quase 10 bilhões de habitantes no mundo. Sendo que 66% residem em cidades. Acredita-se em uma necessidade de monitoramento e gerenciamento da vida urbana, com isso tem sido aplicado diversas tecnologias para atingir a melhoria na eficiência hídrica e sustentabilidade de sistemas de abastecimento de água (PIXFORCE, 2024).

As técnicas inovadoras estão vinculadas a processos que introduzem novidades e melhorias significativas. Contam com planejamento estratégico e uso de tecnologias para melhores resultados (PORTO; MACADAR, 2017).

A aplicação de técnicas inovadoras de infraestrutura, pode garantir o controle e monitoramento de distribuição de diversos sistemas geridos pelas cidades (MERKULOV; SHEMYAKINA, 2018).

Dentre as técnicas inovadoras encontradas nos serviços de abastecimento de água estão: a automação, serviços vinculados à inteligência artificial, gêmeos digitais, redes de sensores sem fio e modelagem hidráulica.

3.6.2 Automação de processos

A ferramenta atua como facilitador nas grandes concessionárias de abastecimento de água. Os medidores inteligentes fazem parte do escopo de automatização de sistemas são aplicados como agentes que combatem o desperdício de água, permitem a utilização de dados registrados e transmitidos aos consumidores e permitem um padrão de consumo, por meio de estudos e análises de dados. Assim é possível verificar a detecção de anormalidades como perdas por vazamentos ou mal funcionamento do equipamento (FILHO *et al.*; 2023).

É necessário o entendimento dos sistemas de tecnologias modernas como os medidores inteligentes que permitem conexão e controle, análise de dados de

transferências e geolocalização, já os módulos de medição inteligente transmite os dados do medidor de água para os gateways por meio de comunicadores sem fio. Os gateways são responsáveis por coletar os dados de todos os medidores e enviar os dados para a nuvem, onde são analisados a partir de um servidor, que é responsável pelo gerenciamento de dados (PHONG *et al.*,2022).

A implementação da automação contribui para a superação de desafios operacionais, por meio dos centros de comando e controle, que possibilitam o monitoramento e operação remoto, via telemetria. Essa abordagem favorece um planejamento estratégico diante das falhas dos sistemas. Além disso a aplicação de tecnologias automatizadas em microzonas, se mostra eficaz na mitigação de perdas que promovem impactos ambientais positivos (FRITZ; GIMENIS; PINA FILHO, 2020).

3.6.3 Inteligência artificial

É uma ferramenta que simula processos de inteligência humana, compondo o raciocínio lógico, aprendizado e autocorreção (JAVAID; HALEEM, 2019).

A aprendizagem automática (Machine Learning) é uma vertente da inteligência artificial (IA) que se concentra no desenvolvimento de algoritmos e modelos capazes de identificar padrões e aprender a partir volume de dados, atuando especificamente no melhoramento contínuo dos sistemas com base no seu histórico. Já IA busca criação sistema que simulam comportamentos inteligentes de maneira autônoma. Ambas as abordagens utilizam técnicas avançadas de estatística, álgebra linear, probabilidade e cálculo (FORERO-COBOA; NEGRE-BENNASAR, 2024).

Os casos de IA vinculados a sistemas de abastecimento de água, podem ser utilizados como decisão humana, para o monitoramento de qualidade de água, desligamento de tubulação, para fins de manobra emergencial e detecção de vazamentos, através de desenvolvimento de sistemas robóticos para monitoramento interno das tubulações, que busca fissuras, oriundas de corrosão ou alta pressão (LIU; KLEINER,2013).

Uma pesquisa feita por Noronha e Martins (2023) relatou a solução da utilização de IA, para combate a perdas no abastecimento e aumento da eficiência na distribuição. A solução escaneia, cidades e bairros possíveis pontos de vazamentos,

através de ruídos, capta-se o áudio onde é enviado a IA que classifica o ponto como vazamento.

3.6.4 Internet das coisas

O conceito de internet das coisas é algo eminente no atual momento. A alta capacidade de coleta de dados faz com que o IoT se torne um componente chave da tecnologia da informação e comunicação.

Segundo Syed *et al*, (2022) a IoT engloba dispositivos que se conectam entre si, comunicando e compartilhando informações.

A ampla conectividade e a intercomunicação dos serviços físicos integram soluções benéficas a todos os usuários. O uso de dispositivos conectados tem em seu principal benefício a alta capacidade de coletar grandes volumes de dados e convertê-los em ações úteis para a indústria e comércio (CARRION, QUARESMA, 2019).

3.6.5 Gêmeos Digitais

A definição de gêmeos digitais se enquadra em representações virtuais de objetos físicos ou pessoas, que são criados através de tecnologia 3D. Pode ser usado em todo ciclo de vida de um ativo. Além de auxiliar na gestão de infraestrutura, os gêmeos digitais facilitam a elaboração de estratégias a longo prazo (GALVÃO *et al.*, 2023).

Os Gêmeos Digitais foram implementados em um sistema de distribuição em Lisboa, sul de Portugal, utilizando sensores inteligentes, GIS e ferramentas SCADA, permitindo rápida detecção e reparo de perdas por rompimentos. Para minimizar os vazamentos foram adotadas estratégias resultando na redução de 15% do volume total perdido. Além disso o Digital Twin contribuiu para o gerenciamento de pressão, aprimorando a gestão do controle de perdas (RAMOS *et al.*, 2022).

A ferramenta ArcGIS integra diversos meios de informação com o objetivo de produzir um gêmeo digital. Esse processo de modelagem permite a integração de toda a vida útil de um ativo. Isso facilita a previsão e o planejamento de tomadas de decisões. O ArcGIS pode acoplar a gestão de ativos, o gerenciamento de projetos, posteriormente a operação e a manutenção (ESRI, 2025)

3.6.6 Tecnologia de comunicação via rádio

Com a deficiência no sistema de monitoramento de navegação 3G como cobertura limitada e o consumo de energia, foi descoberto a eficácia e a aplicabilidade da tecnologia do tipo Low-power wide area network a LPWAN, como a LoraWan, que apresenta maior cobertura e pouco consumo de energia (ALENZI; CHAI; CHEN; JIMMA, 2020).

A tecnologia de dados de comunicação via LoraWan é um fenômeno do IoT, uma tecnologia sem fio de baixa potência e radiofrequência, mas que possui recursos de longo alcance, imunidade de interferências e espectro espelhado, fácil instalação, baixo consumo de energia e proteção contra invasores. Também traz consigo a permissão da implantação do IoT (PHONG *et al.*, 2022).

Vale ressaltar que a tecnologia LoraWan usa algoritmos de última geração e segurança de ponta a ponta. Inclui em seu sistema autenticação mútua e proteção de integridade. A autenticidade mútua é estabelecida entre dispositivo final lorawan e rede LoraWan, que garante redes genuínas e autênticas (TOH; 2020).

A LoraWan oferece uma cobertura de 2 a 10 km em áreas urbanas e de até 45km em áreas rurais, porém quanto maior a distância entre o gateway, menor será a taxa de dados oferecida (ALENZI; CHAI; CHEN; JIMMA, 2020).

Assim como a LoraWan, a Sigfox se tornou uma das principais tecnologias de Low-power wide area network a LPWAN. A Sigfox oferece cobertura de rede em comunicação bidirecional e unidirecional sobre o espectro não licenciado, que significa que está sujeito aos regulamentos de acesso ao espectro. Utiliza transmissão de rádio Utra Narrow Band (UNB) para uplink e downlink. (GOMEZ *et al.*, 2019).

A tecnologia Sigfox se engloba em volume de dados baixo e alcance operacional grande, logo o consumo da corrente é muito baixo. Exigindo o mínimo de consumo de energia, garantindo uma das vantagens da tecnologia Sigfox (LAVRIC; PTRARIU; POPA, 2019).

A tecnologia LoraWAN apresentou falhas na comunicação conforme o aumentava-se a profundidade. Também foram identificados que em áreas rurais a

taxa de recebimentos de dados é maior comparados as áreas formais (VILLARIM; SOUTO; VILLARI, 2023).

3.6.7 Rede de sensores sem fio

As Redes de sensores sem fio (RSSF) são um conjunto de sensores que conseguem, por meio de comunicação sem fio a captação de ações que estão inseridas e ainda transmitir para outros nós da rede (MACEDO; ARAÚJO; SOUSA, 2014).

O sensoriamento remoto vinculado a IoT permite resposta rápida a problemas encontrados nos setores de abastecimento. As tecnologias via rádio LoraWan e Sigfox, atuam de maneira extraordinária nos SAA. Garantindo a transmissão de dados e a análise rápida dos dados levantados. Os sensores são essenciais para qualquer sistema de controle inteligente (OLATINWO; JOUBER, 2019).

O sensoriamento remoto via satélite é uma técnica que facilitam a gestão de sistemas de abastecimento de água. Na cidade Bagdá, foi feito um estudo com a utilização de dados geoespaciais com sensores nas tubulações, em que se concretizou a eficiência de monitoramento nas peças onde os sensores foram instalados (HASAN, 2020).

3.6.8 Modelagem Hidráulica

A modelagem hidráulica é uma das ferramentas tecnológica comumente utilizada, objetivando a gestão no sistema de distribuição de água, simulando o comportamento de diferentes cenários, ajudando a equipe técnica a identificação de áreas sujeitas a desabastecimento. Também atua como agente no planejamento estratégico para redução de vazamentos (Da SILVA *et al.*, 2004).

WaterGEMS é um software desenvolvido pela Bentley systems, que permite analisar o comportamento dos setores de abastecimento, avaliar o desempenho do sistema e otimizar o planejamento das redes. Está enquadrado em modelagem avançada, pois permite o detalhamento de tubulações, bombas, válvulas, reservatórios. Desempenha as seguintes funções: Cria e realiza análise de estado estável, simula e gerencia cenários, possui a Darwin designer que é uma tecnologia para otimizar a configuração das redes de distribuição, avalia os custos dos cenários e importa dados via SCADA (SAMA; RAMANUJ; PATEL, 2025).

Assim como WaterGEMS, o Epanet também é um software de modelagem hidráulica, desenvolvido por Environmental Protection Agency (EPA), que fornece cálculos e análise dos setores de abastecimento, sugere melhorias, através da otimização do sistema e possui uma interface didática, que permite a criação manipulação dos dados, facilitando a interpretação dos resultados. (SALOMÃO, *et al.*,2022)

A seguir, o Quadro 2 com os comparativos dos softwares com suas principais características:

Quadro 2 – Diferencias entre Epanet e WaterGEMS

Epanet	Water GEMS
Interface didática para iniciantes	Interface avançada para experientes
Software Gratuito	Software pago
Não possui capacidade para importar dados geoespaciais	Oferece importação de dados de SIG
Simulação e Análise de cenários	Simulação e Análise de cenários
Exportação do mapa da rede legível em programas CAD(DXF)	Exportação DXF(CAD) e shapefile(GIS)
Determinação de perdas de água	Determinação de perdas de água
Conexão de sinais SCADA	Conexão de sinais SCADA

Fonte: Próprio autor (2024)

O software WaterGEMS oferece uma modelagem proficiente, de modo que possa ser modelada antes mesmo de ser projetada ou atualizada, pois os possíveis erros podem ser eliminados na simulação. Já o Epanet atua como ferramenta de pesquisa as vantagens desse software é ser gratuito e considerar perdas nas conexões (curvas, tês). No Epanet a altura manométrica é calculada pelas fórmulas de Hazzen-Williams, Darcy Weisback ou Chezy-mannig, que presume que a água esteja escoando em condições plena de carga hidráulica. (NAVIN; DOHARE,2022)

Sarisen *et al.* (2022) afirmam a existência de uma lacuna de conhecimento, em termos de modelagem hidráulica pois é necessário um desenvolvimento de ferramentas e metodologias mais adequadas que possam abordar holisticamente as características dos sistemas de abastecimento.

A calibração do modelo para aplicação de modelos matemáticos é vital para conhecimento da área onde será estudado, porém isso infelizmente não é feito da forma abrangente (SHEFFIELD *et al.*, 2018).

Os primeiros passos que são comumente para alimentação do modelo são, a busca por banco de dados corretos no cadastramento de redes, juntamente com a medição de pontos estratégicos para a calibração do modelo, o que torna uma possível solução aplicável (ROJEK; STUZINSKI, 2019).

3.7 Panorama mundial das tecnologias atuais em SAA

3.7.1 Comunidade Europeia - Alemanha

A Alemanha conta com sistemas avançados de medição inteligente, que permitem a gestão de consumo de água através de medidores inteligentes de água que permitem leitura com precisão, sendo um auxiliar nos processos de redução de perdas no abastecimento (ARDNT; SHEVELEVA; GOEKER, 2015).

Houve aumento de patentes de biossensores dentre os países listados está a Alemanha. Um biossensor consiste em elementos analíticos que contêm material biológico, que desempenham um papel importante na detecção e monitoramento de contaminantes no sistema de abastecimento (KONDRATYVEVA *et al.*, 2021).

Na Alemanha, o saneamento 4.0 é o método integrado para o uso de tecnologias emergentes, que se enquadram em sistemas ciber físicos (CPS), IoT, computação em nuvem, IA e automação que é alinhado à indústria 4.0, que impulsiona a digitalização e a automação de processos. O sistema ciber físico consiste em uma integração de sistemas computacionais redes, e processos físicos. O processo físico é o local onde se monitora e controla o item através de sensores e atuadores. Por meio de redes de comunicação, as informações adquiridas no sistema físico, são enviadas ao sistema ciberfísico (ADEDEJI *et al.*, 2024).

3.7.2 Comunidade Europeia - Itália

Uma combinação ligada ao TIC é a comunicação via sensores e monitoramento em tempo real, usando tecnologia para servir como vínculos inteligentes se denomina o conceito *WISDOM* que integra gestão dos sistemas de abastecimento e tecnologia inteligente (ZARLI *et al.*, 2014).

Em Gorino Ferrarese na Itália, foi feita uma da exploração de medidores inteligentes para analisar o modelo gestão de demanda noturna, onde pôde-se avaliar se existe fuga de água, através dos horários de gestão e FAVAD a caracterização dos vazamentos. A troca dos medidores tradicionais pelos medidores inteligentes permitiu um grau de confiança nas tubulações que existiam vazamentos (MARZOLA; ALVISI; FRANCHINI, 2021).

Em Gorino Ferrarese, foi elaborada a plataforma SWANN que detecta vazamentos através de um algoritmo empírico, que se baseia em séries temporais de vazões. O algoritmo é configurado para analisar a presença ou ausência de vazamentos, durante um período do dia em que o consumo é relativamente baixo. A plataforma facilitou a análise dos dados recolhidos para a otimização da gestão de abastecimento de água (ALVISI *et al.*, 2019).

A tecnologia de sensoriamento remoto é usada a fim de otimizar as rotas de coleta de dados de medidores. Na Índia foram instalados sensores nos medidores de vazão, com o objetivo de diminuir as perdas e melhorar a qualidade dos serviços, que foram combinados com testes periódicos de qualidade da água e relatório que ajudam nas interrupções de serviços (ANDRES *et al.*, 2018).

Okoli e Kabaso (2024) afirmam que o sistema de medição de consumo inteligente, consiste em visualização em tempo real do consumo de água onde é realizado por meio de medidor inteligente que envia os dados a um gateway e em seguida são enviados para a nuvem, onde são verificados por um algoritmo de detecção de vazamentos. A margem de erro do sistema gira em torno de 4,63%, levando em conta a exatidão do sistema.

3.7.3 América do Norte - Estados Unidos

Os Estados Unidos contam com IA preditiva que auxilia nos processos de mitigação de falhas nas tubulações. A *Pipe Asset Management*, com tecnologia VODA, utiliza IA preditiva para identificar quais segmentos da tubulação tem maior probabilidade de falha, e ainda predizer a vida útil dos tubos, fazendo com que seja possível planejar a substituição dos tubos, antes mesmo da falha. A confiabilidade do sistema conta com 80% a 90% de precisão que determina o número de falhas em 12 meses (WATER ON LINE, 2024).

A gestão inteligente de água explora os sistemas autossuficientes, resultando na diminuição de perdas, melhorias para o cliente e otimização operacional. Detecta precocemente os vazamentos e garante um controle eficiente de perdas. Técnicas de IA auxiliam na tomada de decisão eficaz sobre a gestão hídrica (RAMOS *et al.*, 2022).

3.7.4 Ásia - Japão

No Japão, a maioria da infraestrutura de abastecimento de água está envelhecida, provocando o encrustamento das tubulações e consequentemente a corrosão. Dessa maneira é imprescindível a adoção de medidas que visam eficiência hídrica. Tóquio conta com medidas rápidas para a prevenção de vazamentos, onde se enquadra na menor taxa de vazamento mundial, esse resultado é proveniente de medidas de prevenção de fugas como equipamentos de última geração e prontidão nas varreduras de caça-vazamentos (WATER SUPPLY IN TOKYO, 2024).

Uma característica de Tóquio, a altimetria variável que torna desafiador o abastecimento de água, resultando em pressões superiores a necessário. Para esse controle tradicionalmente são utilizadas válvulas redutoras de pressão, no entanto estudos apontam que pode ser substituído por equipamentos de energia hidráulica, capazes de converter o excedente de pressão e não gerar emissões de gases do efeito estufa (TANAKA; KANEKOB, AYOMAB, TORIYAMAB, 2019).

3.8 Panorama nacional das tecnologias atuais em SAA

A construção de cidades inteligentes no Brasil requer vencer desafios além de econômicos e sociais sobejamente conhecidos, é necessário infraestrutura TIC, levando em conta o alto custo de melhorias ou implementação de TIC (WEIS, 2019).

Curitiba se autodenomina inteligente e expande essas informações através dos meios digitais. A prefeitura convida a população residente e visitante a atuar na construção do designer da cidade, explorando seus pontos mais bonitos através de postagens fotos. O programa objetiva a promoção da política urbana, fazendo com que a inovação contribuía para uma melhor qualidade de vida (KISTMAN, 2020).

A cidade de Curitiba é conhecida por ser a mais inteligente do Brasil, resultado no Ranking Connected Smart Cities, no período de 2015 a 2018. Isso por que conta com uma série de ações que vem sendo implantada assim como o projeto Curitiba 2035 que procura aderir o planejamento estratégico municipal, atuando como

ferramenta na gestão da cidade. Isso contribui para melhoria da qualidade de vida. Adoção de ações voltadas a um futuro promissor e perene contribui para a qualidade de vida (LOCATELLI; VICENTI, 2019).

A companhia de saneamento básico de São Paulo - SABESP utiliza medição do consumo com leitura remota, por meio de hidrômetro com saída pulsada, que se enquadra ao IoT o pré-projeto entrou em operação desde 2018 e no total foram instalados 500 pontos de monitoramento, sendo possível verificar anomalias de consumo (SABESP, 2024).

No Rio Grande do Sul, foi desenvolvido uma tecnologia para identificação de vazamentos subterrâneos, utilizando um sistema de monitoramento via satélite que consegue distinguir as características de água em até 3 metros de profundidade, a empresa Corsan está a frente desse iniciativa e afirma numa redução de 25% dos vazamentos (CORSAN, 2024).

O Centro de Operações do Rio de Janeiro - COR foi projetado para antecipar prevenir tragédias e prevenção de riscos por meio de sistema inteligente. O COR possui monitoramento da cidade, exibindo localização das ambulâncias, operação nos transportes públicos, além de estações meteorológicas independentes, informações sobre satélite e deslizamentos. Em Búzios-RJ existem redes inteligentes que utilizam TICs para coletar manipular informações sobre o consumo da eletricidade, a rede conta com educação sustentável com o objetivo de criar formas de consumo mais sustentáveis (LEMOS; MONT'ALVERNE, 2015).

Foi realizado um protótipo de monitoramento de rede para detecção de vazamentos via sensores, foi comparado o valor de geofone e haste de escuta, corantes, equipamentos necessários para detecção de vazamentos. E foi verificado que o protótipo se destacou pelo seu custo baixo comparados os modelos tradicionais. (FAIS *et al.*, 2023).

Na cidade Campo Grande-MS, utilizou a ferramenta de modelagem hidráulica para diminuir as perdas por vazamento. Foi considerado modelo de calibração, a fim de obter dados reais. Foram evidenciados através da modelagem computacional, possíveis pontos de vazamentos nas regiões de abastecimento. (SOARES *et al.*, 2004).

Na busca por novas tecnologias vinculadas a SSA, existe uma escassez de artigos publicados. Essa resposta pode ser a soma de pouco estudo aplicado no Brasil nas revistas científicas e pouco desenvolvimento sobre o tema. Sabe-se que há implantação e estudos de novas tecnologias em SAA pois muitas empresas têm buscado melhorias no abastecimento.

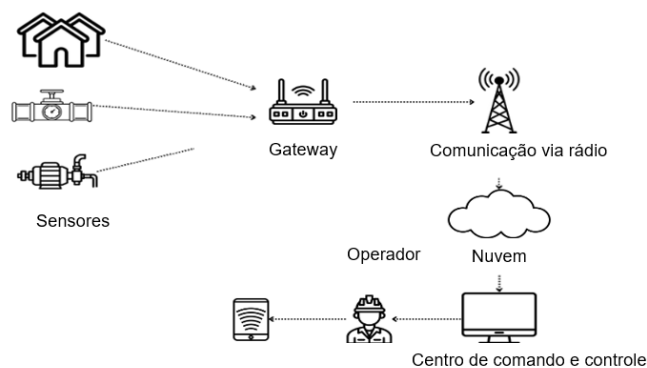
Porém ainda assim não é muito aplicado. Isso se dá ao fato de novas tecnologias necessitam de técnicos e especialistas, e um capital inicial alto. Fazendo com que essas premissas sejam impeditivas para a tomada de decisões.

O modelo de sistema inteligente é vinculado a diversos itens como sensores e medidores inteligentes que permitem a coleta de dados, como vazão, pressão, detecção de vazamentos dentre outros. As redes de comunicação sem fio via IoT enviam dados utilizando tecnologia Low Power Wide Area Network (VELAYUDHAN et al.;2022).

Num sistema inteligente de água, dados são armazenados na nuvem, ou servidor local. Onde são identificados os padrões e utilizado IA, para definição de parâmetros. Os atuadores são sistemas de controle que permite automação das singularidades como fechamento de válvulas limítrofes, bombas dentre outros (SAGATECH,2024).

Posteriormente toda a transmissão é ligada ao centro de controle operacional da companhia, numa plataforma inteligente, que permite controlar e analisar os dados gerados por essa transmissão para o usuário final. A Figura 5 esquematiza um sistema inteligente de água (SAGATECH,2024).

Figura 5 - Modelo de sistema inteligente de água



Fonte: Próprio autor (2025)

O uso de várias tecnologias em prol da mitigação de perdas desempenha um papel fundamental nas cidades inteligentes que, por sua vez possui soluções para atenuar problemática da escassez hídrica. Mantendo o atendimento as necessidades populacionais e garantindo segurança hídrica.

Apesar de ser um tema atual, ainda existem limitações das pesquisas quanto a aplicação. Visto que foram encontrados poucos trabalhos referente e específico ao tema. Contudo esse estudo visa ampliar o conhecimento dos colegas profissionais e acadêmicos, frente a soluções viáveis existentes, através da análise de viabilidade econômica que será abordado no próximo capítulo.

3.9 Análise de viabilidade técnico econômica

A análise de viabilidade técnico econômica é uma ferramenta fundamental que busca identificar os benefícios esperados pelo investimento. Essa ferramenta traz consigo, indicadores de desempenho e tomadas de decisões que agregam no estudo de viabilidade (MENSAH *et al.*, 2020).

Também compara os custos associados ao investimento, a fim de verificar sua viabilidade. Se o projeto não alcançar a possibilidade de ser rentável em relação ao que foi investido, pode-se dizer que ele será descartado (LIMA; B. Da SILVA; K. Da SILVA 2021).

Existem técnicas para alcançar resultados eficientes a análise de investimentos refere-se basicamente a decisões de aplicações, que retornaram por vários períodos consecutivos. Ao escolher uma técnica é necessário classificar e analisar seu investimento, baseada no seu retorno, ou seja, é verificado investimentos permanentes onde o valor monetário é mais alto (STRIDER; CUNICO; WALTER, 2022).

Método Payback é uma métrica financeira bastante utilizada para análise da viabilidade do investimento. É calculado o tempo médio necessário para recuperar o investimento feito inicialmente, pode ser usado também para determinar quanto tempo será necessário a recuperação dos custos por meio de benefícios (TORRES; JÚNIOR, 2013).

O método payback pode ser aplicado em duas formas: playback simples e playback descontado, o payback descontado utiliza o valor no dinheiro no tempo, onde o valor do fluxo de caixa é aplicado a taxa atual, trazendo um valor condizente com a realidade, diferente do simples que não considera o valor do dinheiro no tempo. Esse método é vantajoso pois é de fácil compreensão e é mais preciso para avaliar a viabilidade financeira a longo prazo (PALUCCI; MOREIRA, 2015).

O payback contribui na avaliação e análise de projetos com investimentos. A atuação do payback define tomadas de decisões que ajudam um empreendimento a rejeitar um projeto ou aceitar (TORRES; JÚNIOR, 2013).

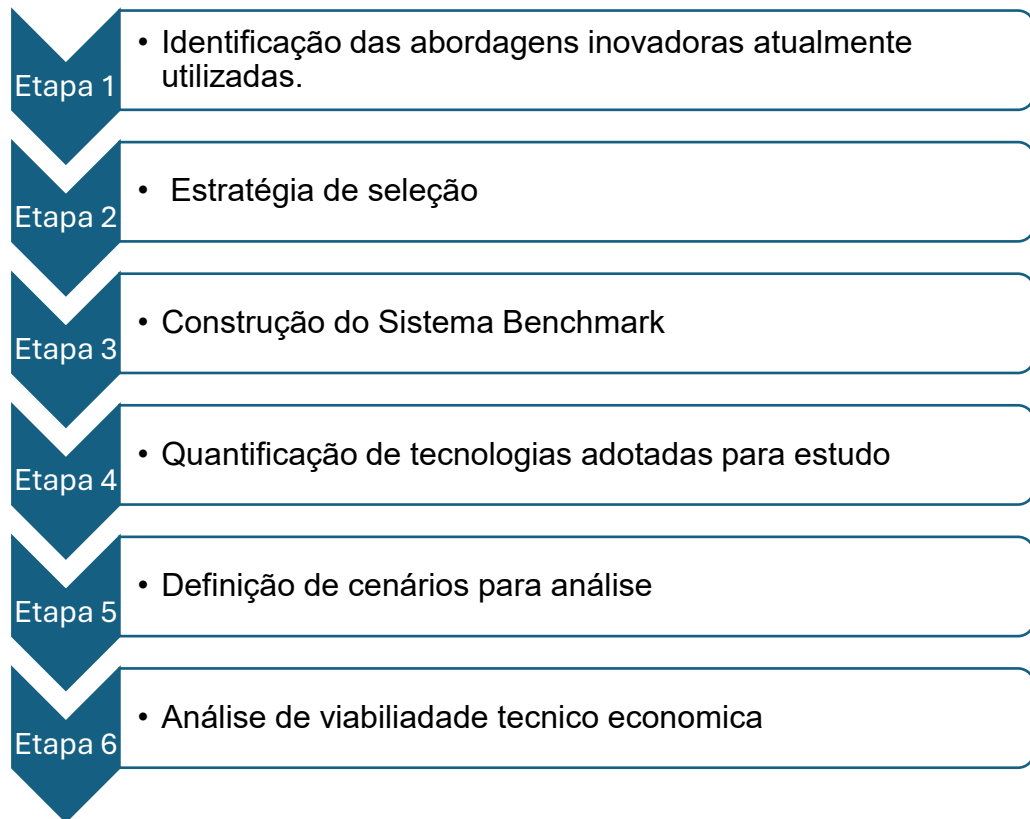
Magalhães e Teixeira (2023) apresentaram a viabilidade econômica, através de payback para o município de Jundiaí-SP, foi provado a eficácia de um sistema modelado para redução de perdas. A implantação da concepção se mostrou eficiente, considerando os cálculos de economia e um payback de 5 meses. A análise de viabilidade econômica foi um fator decisivo para a implantação.

Noronha *et al*, 2022, estudaram a viabilidade econômica de instalar um sistema de implementação de painéis fotovoltaicos interligados a rede elétrica. As conclusões referentes ao estudo indicam um grande investimento inicial, que seria recuperado antes da vida útil do sistema que seria 25 anos. E a recuperação, ou seja, o payback, seria em torno de 3 anos. A confiabilidade dessa métrica, implica significativamente na implementação do sistema de painéis fotovoltaicos.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi dividido nas etapas apresentadas no fluxograma ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Etapas de desenvolvimento do projeto



Fonte: Do próprio autor (2025)

4.1 Etapa 1– Identificação das abordagens do estudo

Na etapa 1 foram realizadas pesquisas sobre novas tecnologias encontradas em cidades inteligentes e suas perspectivas nos sistemas de abastecimento. Dentre as novas tecnologias foram destacadas:

A aplicação de automação de processos em sistema de distribuição, compete na transmissão de dados por meio de telemetria e controladores lógicos. O processo permite um controle operacional mais eficaz, além da otimização dos sistemas e planejamento. A automação se tornou imprescindível nos sistemas de abastecimento e distribuição de água.

A automação, pode atuar em diversas etapas do sistema de distribuição, permitindo um controle na redução de perdas e melhorias apontáveis.

Nos estudos encontrados, foi possível observar a importância da implantação da automação no sistema de distribuição. Na redução de perdas atua com rapidez e qualidade nos reparos de vazamentos nas tubulações, por meio da implantação dos sensores e a conectividade com os centros de comando e controle das companhias de abastecimento de água.

No levantamento realizado, foi observado que a automação de processos possibilita soluções para redução de perdas através da implantação de sensores nas redes de distribuição em conjunto com o software adequado que também é monitorado pela equipe operacional nas salas de comando e controle das companhias de abastecimento.

O Quadro 1 sumariza resumo das principais vantagens da implantação de um sistema de automação em redes de distribuição.

Quadro 1 – Principais vantagens em automação de redes de distribuição

Vantagens	Descrição
Redução de perdas	Permite o monitoramento em tempo real, identificar e conter vazamentos
Otimização do controle operacional	Monitoramento em tempo real via telemetria
Agilidade nas manutenções	Deteção precisa de falhas e atuação pontual nas redes de distribuição
Eficiência energética	Automatização reduz desperdício de água e energia
Confiabilidade no abastecimento	Monitoramento constante garante estabilidade e segurança

Fonte: Do próprio autor (2025)

O Uso da IA nos sistemas de distribuição, atua em conjunto com outras abordagens. A inteligência artificial é capaz de aprender metodologias humanas e reaplicar ao que se refere. No mundo tecnológico tendencia o uso de IA.

Estudos apontaram que o uso de IA é capaz de identificar possíveis vazamentos nas redes de distribuição. É realizado por meio da instalação de sensores nas redes de distribuição, onde os dados são enviados para sistemas inteligentes que analisam instantaneamente. Assim é garantida a localização do possível vazamento.

Além de prever a redução de perdas, a IA também auxilia na manutenção preditiva que permite a análise o desempenho do equipamento e a possível falha. Isso

evita interrupções no abastecimento e melhora a vida útil dos equipamentos. O Quadro 2 destaca o uso de IA nas redes de distribuição, no princípio da redução de perdas.

Quadro 2 - Resumo da aplicação IA nas redes de distribuição de água

Aplicação	Descrição
Detecção de Vazamentos	Algoritmos identificam anomalias na pressão e vazão
Monitoramento contínuo das redes de abastecimento	Através da instalação de sensores nas redes, é possível identificar possíveis falhas
Manutenção preditiva	A IA prevê falhas em equipamentos, antes do estado crítico.
Respostas autônomas	A IA toma decisões imediatas a fim de controlar as perdas

Fonte: Do próprio autor (2025)

A aplicação dos gêmeos digitais, no saneamento permite a gestão de ativos, facilitando a manutenção preventiva e a tomada de decisões.

Além de possibilitar a integração direta com a IoT, permitindo a análise em tempo real, os Gêmeos Digitais possibilitam a simulação de objetos, em conjunto com a IA. Assim como a IA, a aplicação de Gêmeos Digitais permite acompanhamento contínuo de pressão, vazão e qualidade da água.

Foram encontrados estudos que utilizam a tecnologia de gêmeos digitais reduzindo significativamente as perdas no abastecimento.

Duas técnicas pertencentes a Low-power wide área work, a Sigfox e a LoraWAN, as técnicas são úteis para comunicação em longo alcance, transmitidas via rádio.

A Sigfox apresenta um volume baixo de dados e longo alcance, ou seja, há exigência de disponibilidade de cobertura, isso em relação a disponibilidade, enquanto LoraWan oferece maior volume de dados e longo alcance. Ideal para customização de redes privadas.

Nos trabalhos analisados foram encontrados em grande escala as técnicas envolvidas no âmbito internacional com inteligência artificial, sensoriamento remoto e automação e a grande maioria das técnicas se acoplou com medição inteligente de água, gestão inteligente de água. O Quadro 3 exemplifica o levantamento realizado sobre as tecnologias encontradas no âmbito mundial.

Quadro 3 - Tecnologias Utilizadas no Âmbito Internacional

País	Tecnologia Utilizada
Alemanha	Medição Inteligente de Água
	Implantação de Biossensores
	Automação
Itália	Gestão inteligente de Água
	Medição Inteligente de Água
Estados Unidos	Medição Inteligente de Água
	IA preditiva
	Gestão inteligente de Água

Fonte: Do próprio autor (2025)

Os estudos que se referem a Alemanha, contam com sistemas avançados de medição inteligente de água, o sistema permite a gestão do consumo de água através de hidrômetros inteligentes vinculados a IoT que contém dados precisos sem falhas, também é listada na Alemanha a automação de todo o processo de distribuição de água. Através do sistema Ciber-físico, que controla e monitora as redes e as singularidades por meio de sensores e atuadores.

Na Itália, a tecnologia que ganhou destaque foi a medição inteligente de água, que contou uma margem de erro consideravelmente baixa em torno de 4,63%. O modelo conta com gestão de demanda noturna, onde se analisa se existe “fuga” de água. Durante um período do dia também é analisado a presença de vazamentos nas redes de distribuição.

Nos EUA utilizam a ferramenta capaz de identificar possíveis falhas nas redes de distribuição, através da IA preditiva, é identificado a falha antes mesmo do período crítico.

Já no Japão, foi apontado a substituição de válvulas redutoras de pressão, para fins de melhoria no abastecimento. Não foram encontradas novas tecnologias utilizadas para mitigação de perdas.

No âmbito nacional também foram encontradas algumas tecnologias que já estão em implantação ou já foram implantadas.

No Rio Grande do Sul, foi desenvolvida uma tecnologia que reduz as perdas aparentes em até 25%. Essa tecnologia é capaz de identificar vazamentos em até três metros de profundidade.

Outros locais também foram encontrados como Rio de Janeiro que utilizou protótipo mais eficaz do que os aparelhos de detecção de vazamentos comuns, para identificação de vazamentos.

Na busca por estudos no âmbito nacional, foi possível observar a escassez de estudos publicados em questão.

É sabido que existem muitos estudos em andamento para implantação de tecnologias voltadas a mitigação de perdas no abastecimento.

Porém os estudos não são publicados com certa recorrência, isso devido a minoria das empresas que fazem essas implantações, publicarem seus estudos.

4.2 Etapa 2 – Estratégia de seleção

Os estudos levantados no âmbito internacional foram divididos em Medição Inteligente de água e Gestão Inteligente de água.

A ideia do trabalho é validar as implantações de novas tecnologias utilizadas no âmbito internacional, e compreender a vantagem economicamente da aplicação dessas tecnologias no Brasil. Sabendo que duas das tecnologias estudadas, apresentaram maior número de estudos publicados, foram escolhidas as duas novas tecnologias: Gestão inteligente de água e Medição inteligente de água.

Com essa premissa, foram buscadas informações sobre empresas que fazem esse tipo de serviço afim de levantar orçamentos reais, para que o estudo se faça mais coerente economicamente.

Foi feito um levantamento sobre duas empresas que realizam esses serviços. As empresas passaram seus orçamentos e a partir disso foi dada continuidade no estudo. A empresa que fornecesse a Gestão inteligente de água foi denominada empresa A, sua responsabilidade seria a instalação de sensores nas singularidades e nas redes de distribuição.

Já a empresa que fornecesse a Medição inteligente de água, ofereceu a implantação e troca de hidrômetros convencionais por hidrômetros inteligentes.

4.3 Etapa 3 – Construção do Sistema Benchmark

Foi construído um sistema Benchmark de sistema de água para proposição do estudo, foi avaliado um município com características similares, a fim de manter um resultado coerente. A Tabela 1 identifica os atributos do município com os atributos do sistema Benchmark.

Tabela 1 - Dados do sistema Benchmark

Atributos	Município A	Sistema Benchmark
Ligações(unidades)	18.900	22.000
Extensão de Redes(m)	45.790	35.926
Setores(uni)	2	2
DMC(uni)	4	4
Reservatórios(uni)	4	2
VRPs(uni)	-	6
População(hab)	47.574	46.594
Booster	3	1
Ipdt(%)	37%	45%

Fonte: Do próprio autor (2025)

Legenda: DMC -Distrito de medição e controle; IP – Índice de perdas.

Foram feitas algumas adaptações como o número de reservatórios, que no sistema atual possui poços artesianos e apenas um reservatório de distribuição, um número significativo de válvulas redutoras de pressão, visto que no município conta apenas com duas válvulas redutoras de pressão e um aumento no IP.

A proposta do estudo é viabilizar o Sistema Benchmark, através de implantação de tecnologias que mitigam as perdas no abastecimento. Os equipamentos vinculados as novas tecnologias atendem a todos os cenários estudados.

A Figura 8 ilustra o esquema do Sistema Benchmark onde atende a todos os cenários estudados. A cidade inteligente tem um papel fundamental para a construção do Sistema Benchmark, uma vez que garante o uso de tecnologias voltadas a redução de perdas no a abastecimento.

Figura 7 -Esquema do Sistema Benchmark



Fonte: Do próprio autor (2025)

Com os dados estabelecidos do sistema Benchmark, foi possível fazer alguns levantamentos como:

4.3.1 Identificação das premissas

Por ser um trabalho que visa a análise de custo em função de mitigação de perdas foi necessária uma análise crítica diante da conversa com fornecedores.

Foi identificado que quanto maior o investimento realizado, maior será a redução de perdas de acordo com a implantação, desse modo criou-se a Tabela 2 de estimativa de preço da implantação.

Tabela 2 - Correlação entre o investimento necessário e o índice de perdas do sistema benchmark – Estimativa de Preço

Investimento necessário		Índice de Perdas
R\$	10.000.000	35%
R\$	8.000.000	37%
R\$	6.000.000	39%
R\$	4.000.000	41%
R\$	2.000.000	43%

Fonte: Do próprio autor (2025)

Sabendo o índice de perdas do sistema Benchmark é de 45%, para uma redução de perdas de 10% o investimento seria em torno de R\$10.000.00. Ou seja, a perda passaria de 45% para 35%.

4.3.2 Coleta de dados base

Sabendo-se há existência da apresentação institucional da Sabesp para o ano de 2023, que retrata projeções sobre resultados operacionais e financeiros, de domínio público. Estabeleceu a necessidade de adequar as informações estabelecidas na apresentação institucional com os itens do estudo. Deste modo foram apresentados os dados de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Apresentação Institucional da Companhia de Saneamento de São Paulo - SABESP sobre os indicadores operacionais para o ano 2023.

Indicadores Operacionais SABESP	
Volume produzido	2.985.000.000 m³
Ligações	9.400.000 unidades
Volume médio por ligação	318 m³/ ano
Receita Operacional Líquida	R\$ 25.569.000.000
EBTIDA	R\$ 9.634.000.000
Gastos operacionais	R\$ 15.935.000.000
Gasto/m³	R\$ R\$ 5,34
Gasto/L	R\$ 0,01

Fonte: SABESP (2023)

Legenda: Volume produzido é a quantidade de água que é distribuída a partir dos centros de reservação, em m³. Ligações correlaciona a medição do consumo de água e esgoto. A receita operacional líquida (ROL) é o lucro após a dedução das despesas. O EBITDA é o lucro sem os juros impostos depreciação e amortização.

A partir dos dados coletados foi possível montar a tabela de atributos do sistema Benchmark, Para isso foram necessários calcular alguns itens da apresentação institucional da Sabesp, com o objetivo de trazer mais clareza no estudo e correlacionar os dados reais com o sistema benchmark. Cálculo realizado através da Equação 1, que corresponde ao gasto operacional.

$$\text{Gasto Operacional(R\$)} = \frac{\text{Receita Operacional líquida (ROL)}}{\text{EBTIDA}} \quad (1)$$

O gasto por metro cúbico é a relação entre o gasto operacional e o volume de água produzida. Esse dado é um indicador fundamental no estudo pois analisa o gasto de água pelo seu volume. De acordo com a Equação 2.

$$\text{Gasto (R\$)} = \frac{\text{Volume água produzida}}{\text{Gasto operacional}} \quad (2)$$

Também foi necessário prever o volume médio por ligação, que é a relação entre quantidade de água produzida pelo número de ligação a conforme a Equação 3.

$$\text{Volume médio por ligação} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right) = \frac{\text{Volume de água produzida}}{\text{Ligação}} \quad (3)$$

4.3.3 Finalização do Sistema Benchmark

Para a elaboração do sistema Benchmark foram necessárias adequações dos atributos da apresentação institucional da Sabesp, onde já foi apresentado no capítulo anterior.

A Tabela 1 apresentada no início deste capítulo, já contempla os dados elaborados. Neste tópico serão apresentadas as equações utilizadas para desenvolvimento do estudo e a correlação entre o sistema Benchmark e a apresentação institucional da Sabesp.

Para o cálculo do consumo total do Sistema Benchmark, foi necessário utilizar o volume médio por ligação da apresentação institucional Sabesp. Sendo assim tem-se a Equação 4 que se refere ao consumo total do sistema Benchmark

$$\text{Consumo Total}(\text{m}^3/\text{ano}) = \text{Ligações}_{\text{Benchmark}} \times \text{Volume médio por ligação}_{\text{SABESP}} \quad (4)$$

Para compreensão do custo operacional do sistema benchmark, foi necessário correlacionar o gasto operacional da apresentação institucional Sabesp. e o consumo total do sistema Benchmark assim como a Equação 5

$$\text{Custo Operacional (R\$)} = \text{Consumo Total}_{\text{Benchmark}} \times \text{Gasto Operacional}_{\text{SABESP}} \quad (5)$$

Sabendo o custo operacional do Sistema Benchmark, é possível calcular o valor Prejuízo Financeiro. O prejuízo financeiro é a quantia que aquele sistema deixa de faturar, mediante um indicador a quem se refere. No caso do sistema Benchmark,

foi utilizado o indicador de perda de água IP. Sendo assim o Prejuízo Financeiro é calculado a partir da Equação 6.

$$\text{Prejuízo Financeiro(R\$)} = \text{IP} \times \text{Custo operacional} \quad (6)$$

O Valor livre é a diferença entre Custo operacional Prejuízo Financeiro, ou seja, o Valor Livre de perdas. Sendo assim o Valor livre é calculado a partir da Equação 7.

$$\text{Valor livre (R\$)} = \text{Custo operacional(R\$)} - \text{Prejuízo Financeiro(R\$)} \quad (7)$$

A partir dos cálculos foi possível completar a Tabela 4 do Sistema Benchmark exibida no capítulo anterior.

Tabela 4- Sistema Benchmark

Sistema Benchmark	
Ligações	22.000 unidades
Extensão de Redes	35.926 metros
Setores	2 unidades
DMC	4 unidades
Reservatórios	2 unidades
Válvulas redutoras de pressão	6 unidades
População	46.594 habitantes
Booster	1 unidade
Indice de Perdas	45 %
Consumo total	6.986.170.213 L/ ano
Consumo total	6.986.170 m³/ano
Custo operacional	R\$37.294.681
Prejuízo Financeiro	R\$16.782.606
Consumo total	6.986.170.213 L/ ano
Consumo total	6.986.170 m³/ano
Prejuízo Financeiro	R\$16.782.606

Fonte: Do próprio autor (2025)

A coleta dos dados base ajudaram na elaboração do sistema Benchmark, a fim de conter dados mais precisos com relação ao estudo. Foram necessárias adequações ao sistema Benchmark com auxílio de dados existentes da Apresentação Institucional da SABESP, para o ano de 2023.

Essa correlação foi necessária pois, por se tratar de um sistema fictício – o sistema benchmark – apresentará nos próximos capítulos a análise de viabilidade econômica que necessita de dados mais concisos com mais coerência e clareza.

4.4 Etapa 4 – Quantificação de tecnologias adotadas

Foi realizado um levantamento de orçamentação de tecnologias citadas no estudo em questão encontradas no Brasil. Os critérios para a escolha destes fornecedores se enquadram no estudo de tecnologias usadas no exterior, e que já estão em implantação no Brasil.

As tecnologias se classificaram em medição inteligente de água e a gestão inteligente de água. Deste modo a empresa A se caracterizou com a implantação na medição inteligente de água e a empresa B com a implantação de Gestão inteligente de água.

A medição inteligente de água consiste na troca de hidrômetros convencionais para hidrômetros inteligentes.

Essa troca conta uma série de ações que precisam ser implantadas juntamente com o hidrômetro, para que o sistema opere normalmente como: a implantação de Torres para possibilitar transmissão de dados, a implantação de infraestrutura software web, que consiste em programas que ajudam na coleta de dados, rádio transmissor LoraWan/NB-IoT e Transdutores de pressão (SAGATECH,2024).

A gestão inteligente de água consiste na instalação de sensores nas redes de abastecimento, para o monitoramento de pressão, vazão e velocidade. A implantação da gestão inteligente conta com sistema ADA que objetiva a redução de perdas no abastecimento, detectando possíveis vazamentos existentes e sistema Turing que possibilita a identificação o estado de funcionamento dos equipamentos. O Sistema4Fluid é o sistema de monitoramento automatizado que permite detectar vazamentos nos ramais e redes de distribuição em tempo real. Esses dados são enviados para a nuvem (STATTUS4,2024).

A partir do orçamento levantado com as empresas A e B, pode-se embasar o custo do sistema a ser implantado, determinando os parâmetros necessários para a avaliação da modelagem financeira.

Para a elaboração dos cenários foram definidos os custos da implantação, sendo que esse custo leva em consideração a quantidade a ser implantada.

O orçamento para a empresa A foi de R\$14.250.245,00 e a empresa B R\$127.333,00

Com esses valores a empresa A – de medição inteligente de água, considerou a troca de 100% dos hidrômetros convencionais por hidrômetros inteligentes.

Já a empresa B – de gestão inteligente de água considerou a instalação de sensores em 100% das redes de distribuição.

A fim de compor o sistema com custos valores dinâmicos, foi feito uma correlação de quantidade de implantação por custo. Ou seja, a implantação dos serviços varia de acordo com a porcentagem de implantação. Na medição inteligente foi considerado a variação da instalação correspondente ao número de ligações, já na gestão inteligente de água, a variação foi com relação a instalação de sensores nas redes de distribuição. A Tabela 5 apresenta esses resultados.

Tabela 5 - Porcentagem de Implantação por Investimento

Tecnologia	Implantação	Custo
Medição inteligente de água	5%	R\$ 712.512,27
	15%	R\$ 2.137.536,80
	25%	R\$ 3.562.561,33
	70%	R\$ 9.975.171,71
	75%	R\$ 10.687.683,98
	92%	R\$ 13.110.225,68
	100%	R\$ 14.250.245,30
Gestão Inteligente de água	15%	R\$ 19.099,95
	25%	R\$ 31.833,25
	35%	R\$ 12.573,96
	65%	R\$ 23.351,64
	75%	R\$ 26.944,20
	80%	R\$ 28.740,48
	92%	R\$ 20.240,00
	100%	R\$ 127.333,00

Fonte: Do próprio autor (2025)

4.5 Etapa 5 – Definição dos cenários para análise

Foram definidos um total de 15 cenários, a fim de escolher o que tivesse maior retorno em menos tempo e maior redução no índice de perdas.

Os cenários compreendem na identificação da melhor abordagem para o estudo. Desse modo foram definidos dois tipos de Tecnologias. A medição Inteligente de água e a gestão inteligente de água. O Quadro 4 identifica o escopo de cada tecnologia a ser implantada.

Quadro 4 - Identificação do escopo das tecnologias a serem implantadas

Empresa	Implantação da Tecnologia	Escopo
A	Medição Inteligente de Água	Troca para hidrômetros inteligentes
		Implantação de Torres (gateway)
		Implantação de Infraestrutura software web;
		Adequação a sala de comando e Controle (CCO)
		Sincronização
		Equipamentos de telemetria incluindo rádio LoraWAN 2.0
		Antena SMA
		Treinamento de funcionários.
B	Gestão Inteligente de Água	Instalação de Sensores nas redes de 50mm a 500mm
		Adequação a sala de comando e Controle (CCO)
		Gestão da distribuição d'água
		Sistema ADA
		Sistema 4Fluid

Legenda: Sistema ADA sistema que permite monitoramento em tempo real para a identificação de problemas com maior rapidez e eficiência. Sistema 4fluid tecnologia que identifica vazamentos nas redes de distribuição com IA.

Para a escolha do melhor cenário foi definido que o ideal seria o cenário que apresentasse o retorno do investimento em menor tempo e uma redução de perdas em 10%. Assim pôde-se avaliar os cenários.

4.6 Etapa 6 – Análise da viabilidade técnico econômica

A métrica financeira utilizada para analisar a viabilidade técnica econômica foi a do payback descontado que analisa, o período do retorno no investimento feito. A taxa utilizada foi a Selic para o ano de 2024 e um fluxo de 10 anos.

A Equação 7, foi realizada a fim de encontrar a economia que será realizada a partir do custo da implementação do índice de perdas estimado de acordo com a as premissas estabelecidas.

$$E = \text{Perda}_{\text{anual}} - (\text{Custo} \times \text{IP}_{\text{estimado}}) \quad (7)$$

A partir dos dados de economia anual e o custo da implementação, pode-se calcular o payback simples, na Equação 8.

$$\text{PB}_{\text{simples}} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia}} \quad (8)$$

A métrica do payback simples, foi utilizada para fins de comparação do payback descontado.

Considerando a taxa calculada corresponde a 11,75% para o Selic (FOCUS, 2024), para um fluxo de 10 anos. A Equação 9 que se refere ao payback descontado.

$$\text{PB descontado} = \frac{\text{Fluxo de caixa}}{(1+i)^T} \quad (9)$$

5 RESULTADOS

Para avaliação dos cenários tornou-se necessário estabelecer uma correlação entre o sistema Benchmark e duas realidades específicas, a do município A e a apresentação institucional da Sabesp (2023) essa comparação possibilitou a complementação da Tabela 4 referentes ao sistema Benchmark. Essa tabela encontra-se na metodologia capítulo anterior a esse.

O consumo total do sistema Benchmark é a correlação entre a quantidade produzida na projeção SABESP 2023 e a quantidade de ligações existentes no sistema Benchmark, o memorial de cálculo encontra-se no Anexo A.

$$C = 6.986.170,00 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$

Em seguida obteve-se o resultado do custo operacional ao ano para o sistema Benchmark, utilizando os dados da apresentação institucional da SABESP 2023. O memorial de cálculo encontra-se no Anexo A.

$$\text{Custo Operacional} = \text{R\$ } 37.294.681,00$$

Posteriormente obteve-se o cálculo do prejuízo financeiro decorrente da perda de água. O memorial de cálculo encontra-se no Anexo A.

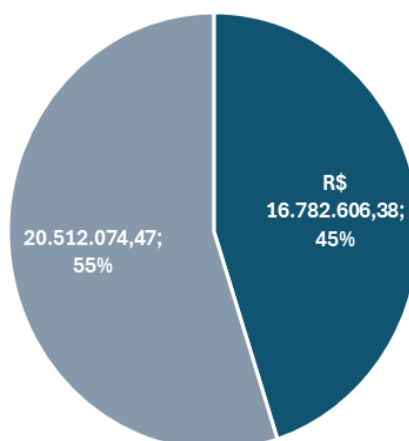
$$\text{Prejuízo Financeiro} = \text{R\$ } 16.782.606/\text{ano}$$

Foi possível analisar que o valor do Prejuízo Financeiro se aproxima a metade do Custo Operacional, sendo assim o valor que não representa perdas foi calculado para análise. O memorial de cálculo encontra-se no Anexo A.

$$\text{Valor livre} = \text{R\$ } 20.512.074,47$$

Através da Figura 8 é possível compreender a importância da implementação da tecnologia na redução de perdas. Uma vez que essa tecnologia reduziria a perda e o prejuízo financeiro causado pelo alto IP.

Figura 8 - Correlação entre o valor livre e o prejuízo financeiro



Fonte: Do próprio autor (2025)

5.1 Avaliação dos itens do escopo da implantação

A gestão inteligente de água consiste na troca de hidrômetros do tipo convencional velocímetros, por hidrômetros inteligentes. Essa ação conta com instalações de torres gateway que permite a transmissão dos dados, instalação de infraestrutura software que permite a visualização dos dados em nuvem, a disponibilização da nuvem, adequação as salas de comando e controle, a implantação de equipamentos de telemetria com saída rádio do tipo LoraWAN2.0 e o Treinamento devido dos funcionários.

O escopo da medição inteligente compreende na instalação de sensores, nas redes de distribuição, a fim de manter o controle e monitoramento das redes de distribuição, também monitora, as válvulas limítrofes, conta com sistema ADA, que permite precisão nos indicadores de problemas em rede de distribuição, como vazamentos e sistema 4Fluid que identifica vazamentos nas redes de distribuição com agilidade e precisão através de inteligência artificial.

5.1.1 Cálculo da Economia Anual

A fim de evitar o prolongamento de resultados, considerando que há 15 cenários analisados com o mesmo objetivo, optou-se por apresentar apenas dois

deles como exemplo, o cenário 2 e o cenário 8. Assim obteve-se os resultados E_{C2} e E_{C8} . O memorial de cálculos encontra-se no Anexo A

$$E_{C2} = R\$745.894,00$$

$$E_{C8} = R\$3.729.468,00$$

A economia anual se torna relevante para o desenvolvimento da métrica financeira, uma vez que é necessário a compreensão sobre o quanto se economiza em cada cenário. O memorial de cálculos encontra-se no Anexo A

$$E_{C2} = R\$745.894,00$$

$$E_{C8} = R\$3.729.468,00$$

5.1.2 Cálculo do Payback simples

Foram calculados o valor do payback simples para cada cenário. O memorial de cálculos encontra-se no Anexo A

$$PB_{simples\ C2} = 0,17 \text{ anos}$$

$$PB_{simples\ C1} = 3,7 \text{ anos}$$

5.1.3 Cálculo do Payback descontado

Além do cálculo do Payback Simples, também foi realizado o cálculo do Payback Descontado, considerando o efeito da inflação uma variável que pode influenciar diretamente na viabilidade de um projeto ou cenário. Para esses cálculos, foi utilizada a taxa Selic de 2024 de 11,75%. A Tabela 8 calcula o Payback descontado do cenário 2.

Tabela 8 - Payback descontado do Cenário 2

Ano	Fluxo(R\$)	Fluxo descontado(R\$)	Fluxo acumulado(R\$)	Payback Descontado
0	-127.333	-127.333	-127.333	-
1	745.894	667.466	540.133	0,2

(continua)

(conclusão)

Tabela 8 - Payback descontado do Cenário 2

Ano	Fluxo(R\$)	Fluxo descontado(R\$)	Fluxo acumulado(R\$)	Payback Descontado
2	745.894	597.285	1.137.419	-
3	745.894	534.483	1.671.902	-
4	745.894	478.285	2.150.187	-
5	745.894	427.996	2.578.183	-
6	745.894	382.994	2.961.176	-
7	745.894	342.724	3.303.900	-
8	745.894	306.688	3.610.588	-
9	745.894	274.441	3.885.029	-
10	745.894	245.585	4.130.614	-

Fonte: Do próprio autor (2025)

No Cenário 8, o dinheiro é retornado no terceiro ano, com um investimento de R\$10.687.684,00 (Tabela 9).

Tabela 9 - Payback Descontado Cenário 8

Ano	Fluxo(R\$)	Fluxo descontado(R\$)	Fluxo acumulado(R\$)	Payback Descontado
	-	-	-	
0	10.687.684	10.687.684	10.687.684	
1	3.729.468	3.337.332	7.350.352	0,0
2	3.729.468	2.986.427	4.363.926	0,0
3	3.729.468	2.672.417	1.691.508	0,0
4	3.729.468	2.391.425	699.917	3,7
5	3.729.468	2.139.978	2.839.894	-
6	3.729.468	1.914.969	4.754.863	-
7	3.729.468	1.713.619	6.468.482	-
8	3.729.468	1.533.439	8.001.921	-

(continua)

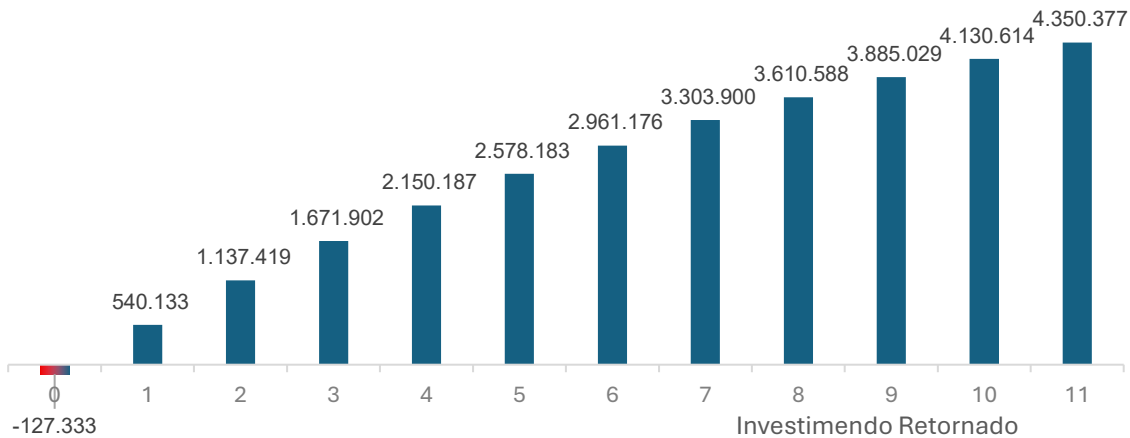
Tabela 9 - Payback Descontado Cenário 8

Ano	Fluxo(R\$)	Fluxo descontado(R\$)	Fluxo acumulado(R\$)	Payback Descontado
9	3.729.468	1.372.205	9.374.127	-
10	3.729.468	1.227.924	10.602.051	-

Fonte: Do próprio autor (2025)

A Figura 9 representa o ano em que o valor investido é retornado, para o Cenário 2.

Figura 9 - Período de Payback por Cenário



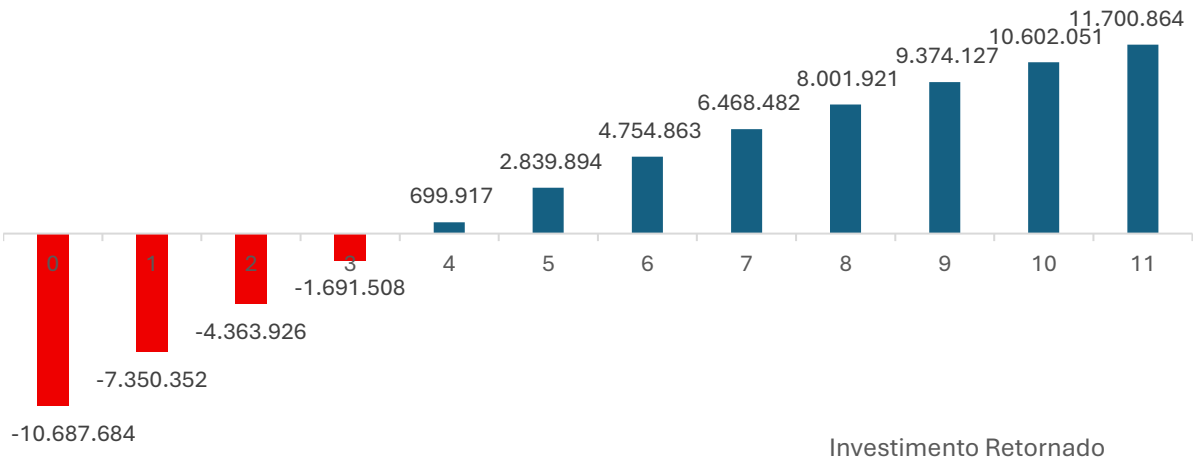
Fonte: Do próprio autor (2025)

Apesar do cenário 2 apresentar um payback no primeiro ano, ele não se adequaria as premissas pré-estabelecidas, visto que a redução de perdas em 10% é um indicador determinante, para a escolha do cenário.

O Cenário 2 possui uma queda da perda de apenas 2%. Sendo assim não se enquadra para a escolha do melhor cenário.

Já a Figura 10 representa o retorno no investimento no Cenário 8. É observado que o valor investido, retorna no terceiro ano.

Figura 10 - Período do Payback para o Cenário 8



Fonte: Do próprio autor (2025)

5.1.4 Identificação dos 15 cenários

Foram realizados 15 cenários, com o objetivo de ampliar o número de tentativas, para a realização do estudo.

Em cada cenário foi implantado uma porcentagem correspondente a quantidade de implantação por atendimento entre ligações e redes de distribuição.

A Tabela 6 exemplifica.

Tabela 6 - Cenários x Implantação da Tecnologia

Cenários	Implantação da Tecnologia
Cenário 1	Medição Inteligente de 100% das ligações
Cenário 2	Gestão Inteligente de água em 100% das redes de distribuição
Cenário 3	50% das ligações terão medição inteligente + 50% das redes terão gestão inteligente de água
Cenário 4	25% das ligações terão medição inteligente + 25% das redes terão gestão inteligente de água
Cenário 5	70 % das ligações terão medição inteligente de água
Cenário 6	5% com medição inteligente + 100% automação de sistemas

(continua)

(conclusão)

Tabela 7 - Cenários x Implantação da Tecnologia

Cenários	Implantação da Tecnologia
Cenário 7	15% com medição inteligente
Cenário 8	75% com medição inteligente
Cenário 9	Gestão Inteligente em 15% nas redes de distribuição
Cenário 10	Gestão Inteligente em 25% nas redes de distribuição
Cenário 11	Gestão Inteligente em 35% nas redes de distribuição
Cenário 12	Gestão Inteligente em 75% nas redes de distribuição
Cenário 13	Gestão Inteligente em 80% nas redes de distribuição
Cenário 14	65% das redes com Gestão Inteligente de água
Cenário 15	Medição Inteligente de 92% das ligações

Fonte: Do próprio autor (2025)

Os cenários contemplam a descrição da metodologia a ser implantada, o custo de implantação o índice de perdas estimado, a economia anual, o payback simples e o payback descontado.

A Tabela 7 contempla os dados compilados para a avaliação dos cenários.

Tabela 8 – Identificação dos cenários do estudo

Cenários	Custo	IP (%)	Economia Anual	Payback simples (anos)	Payback descontado (anos)
Cenário 1	R\$ 14.250.245	35%	R\$ 3.729.468	3,82	5,38
Cenário 2	R\$ 127.333	43%	R\$ 745.893	0,17	0,19
Cenário 3	R\$ 7.188.789	39%	R\$ 2.237.680	3,21	4,28
Cenário 4	R\$ 3.594.394	43%	R\$ 745.893	4,82	7,53
Cenário 5	R\$ 9.975.171	37%	R\$ 2.983.574	3,34	4,51
Cenário 6	R\$ 2.212.512	43%	R\$ 745.893	2,97	3,86
Cenário 7	R\$ 2.137.536	43%	R\$ 745.893	2,87	3,71
Cenário 8	R\$ 10.687.683	35%	R\$ 3.729.468	2,87	3,71
Cenário 9	R\$ 19.099	43%	R\$ 745.893	0,03	0,03
Cenário 10	R\$ 31.833	43%	R\$ 745.893	0,04	0,05
Cenário 11	R\$ 44.566	43%	R\$ 745.893	0,06	0,07
Cenário 12	R\$ 95.499	43%	R\$ 745.893	0,13	0,14
Cenário 13	R\$ 101.866	43%	R\$ 745.893	0,14	0,15

(continua)

Tabela 9 – Identificação dos cenários do estudo

Cenários	Custo	IP (%)	Economia Anual	Payback simples (anos)	Payback descontado (anos)
Cenário 14	R\$ 82.766	43%	R\$ 745.893	0,11	0,12
Cenário 15	R\$ 13.110.225	35%	R\$ 3.729.468	3,52	4,8

Fonte: Do próprio autor (2025)

Legenda: IP = índice de perdas

5.1.5 Considerações dos resultados obtidos

A partir do orçamento levantado com as empresas A e B, pode-se embasar o custo do sistema a ser implantado, determinando os parâmetros necessários para a avaliação da modelagem financeira.

Foram levantados um total de 15 cenários, a fim de escolher o que tivesse maior retorno em menos tempo e maior redução no índice de perdas. Para tanto foram necessárias algumas premissas.

O retorno do investimento em menor tempo e uma redução de perdas em 10%. Assim pôde-se avaliar os cenários.

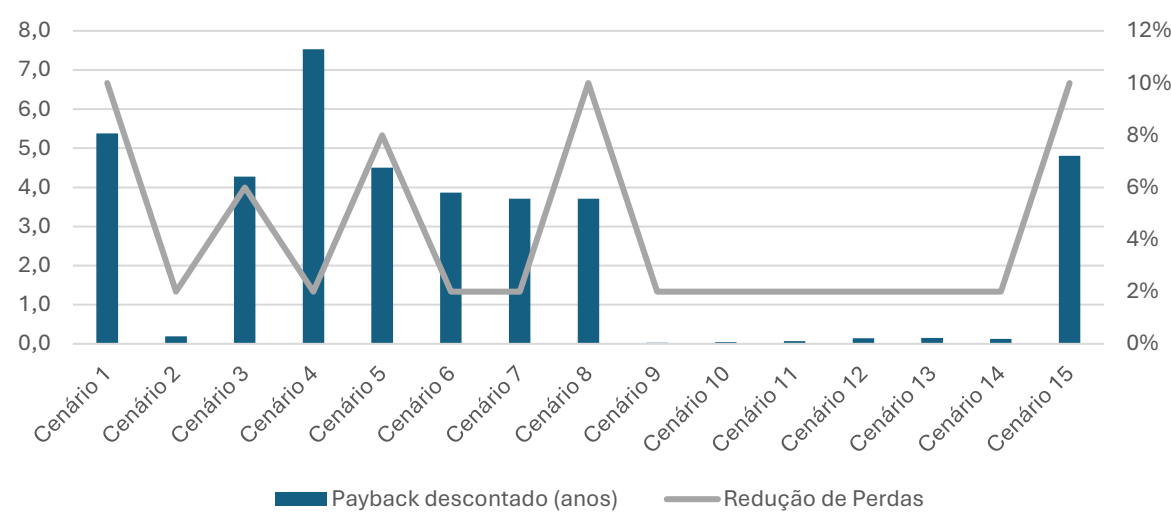
Foi observado que de todos os 15 cenários, o cenário 8 apresentou o melhor resultado. O cenário 8 conta com implantação de 75% de medição inteligente de água, ou seja, das 22000 ligações existente no município, 16500 ligações seriam contempladas com a implantação do cenário 8.

O índice de perdas do município cairia 10% e ficaria com 35% a partir dessa implantação. Para tanto seria necessário um investimento de R\$10.687.684,00. Com a implantação, o payback simples se estenderia a 3 anos, e o payback descontado a 3,7 anos.

É importante observar que alguns dos cenários apresentaram um retorno de investimento em menos de um ano, como os cenários 2, 9, 10, 11, 12, 13, e 14, que significa dizer que dinheiro seria retornado no primeiro ano do investimento, porém seu índice de perdas, não reduziu significativamente, para o estudo em questão não é positivo, já que o intuito da implantação é reduzir as perdas no abastecimento em

10%. A Figura 11, simboliza os 15 cenários com redução de perdas e payback, as premissas do estudo.

Figura 11 - Correlação por cenário entre o Payback Reduzido e a Redução de Perdas

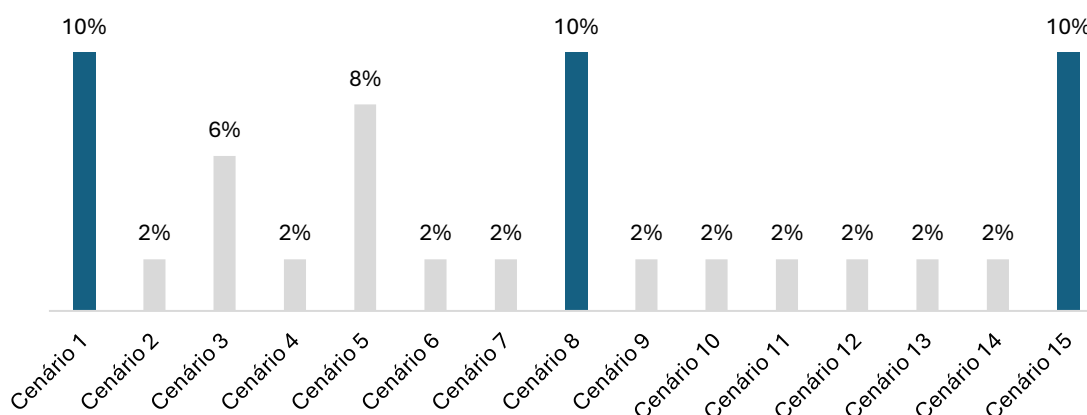


Fonte: Do próprio autor (2025)

Pode-se perceber que dos 15 cenários analisados os apenas 3 se enquadraram nas premissas estabelecidas, os cenários 1, 8 e 15. Isso por que houve redução de perdas de 10%, uma das premissas estabelecidas no início do estudo.

A Figura 12 exemplifica a redução de perdas por cenário para uma redução de 10% de perdas

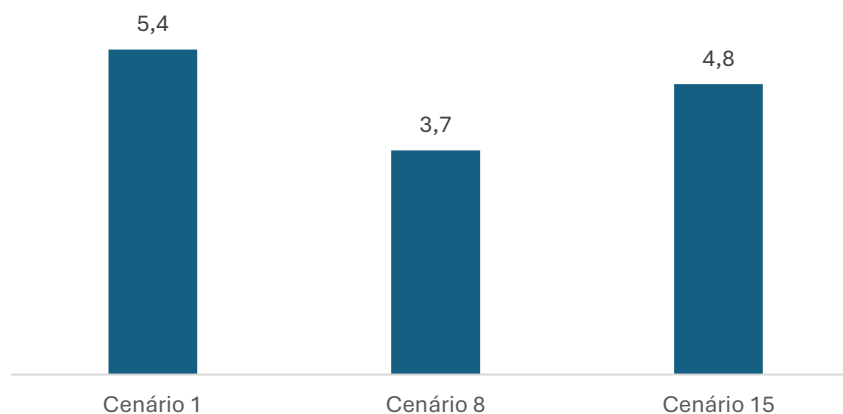
Figura 12 - Enquadramento das reduções de perdas por cenário



Fonte: Do próprio autor (2025)

A segunda premissa para o cenário ideal seria a que obtivesse retorno em menos tempo. A Figura 13, esclarece que o cenário 8 se enquadraria em todas as premissas estabelecidas, já que obteve uma redução de perdas de 10% e um payback de 3,7 anos. Ou seja, o cenário 8 se enquadra no mais adequado para a implantação de nova tecnologia correspondente a medição inteligente de água. A Figura 14 esclarece a escolha do cenário.

Figura 13 - Payback em anos por cenário

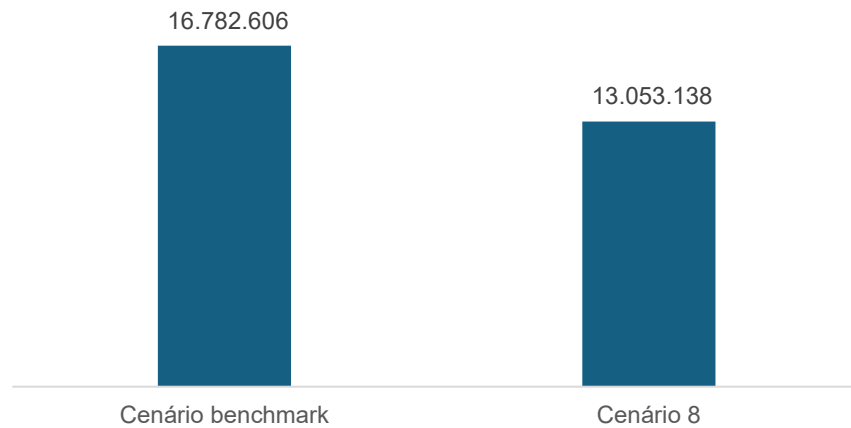


Fonte: Do próprio autor (2025)

Sendo assim, o cenário 8 foi o que se manteve em destaque positivo, que conta com um investimento de R\$ 10.687.684, payback de 3,7 anos e redução de perdas em 10%, que representa uma economia anual de R\$3.729.468 com a queda do

prejuízo financeiro de R\$16.782.606 para R\$13.053.138, ou 22%. A Figura 14 compara queda do prejuízo financeiro.

Figura 14 - Comparativo Cenário atual benchmark X Cenário 8



Fonte: Do próprio autor (2025)

O cenário 8 é caracterizado com a implantação de medição inteligente em 75% das redes de distribuição do Sistema Benchmark, que significa uma substituição de 16500 hidrômetros convencionais, por hidrômetros inteligentes. Garantindo mais precisão nas medições, diminuindo substancialmente as perdas aparentes nos sistemas de distribuição.

O sistema de medição inteligente de água, conta com hidrômetros inteligentes que podem ser transmitidos via rádio frequência, o gateway se torna a ponte entre o medidor inteligente, fazendo com que as informações dos hidrômetros inteligentes se conectem com as torres de transmissão via rádio.

Em seguida são enviados dados de consumo, pressão, vazão e possíveis alertas de vazamentos são enviados para a nuvem que por seguinte são acessados em qualquer dispositivo licenciado, monitores, smartphones e notebooks.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo apresentado nesta pesquisa, foi realizado inicialmente com a busca por novas tecnologias utilizadas mundialmente nos sistemas de distribuição de água em cidade inteligentes. Dentre as tecnologias encontradas houve destaque para o uso técnicas de inteligência artificial, automação de processos, gêmeos digitais, tecnologias de comunicação via rádio e internet das coisas. Desse modo, foi possível associar as tecnologias e identificar a abordagem feita na realidade brasileira.

Foram identificados dois fornecedores, que agrupam serviços de tecnologia contidos no saneamento 4.0. Os prestadores de serviços foram intitulados como empresa A e empresa B.

A empresa A fornece serviço de medição inteligente de água, o serviço conta com a troca de hidrômetros convencionais, por hidrômetros inteligentes, citados com saída pulsada.

A substituição dos hidrômetros convencionais, traz muitos benefícios, pois a grande maioria dos hidrômetros conta com erros e falhas. Os hidrômetros inteligentes possuem grande precisão, além de sincronização instantânea nos centros de comando e controle, também conta com IA para definir padrões pré-estabelecidos, identificando eventuais falhas. A instalação de um hidrômetro inteligente conta com diversas tecnologias levantadas no estudo como uso de IA, IoT, comunicação sem fio via rádio que garante mais estabilidade e conexão, evitando possíveis interferências.

A empresa B fornece serviço de gestão inteligente de água, que contempla o monitoramento das redes de distribuição, através da instalação de sensores nas tubulações de distribuição. Permitindo o controle preciso nas perdas por vazamentos, controle e monitoramento das conexões, sistemas operados por IA que garante tomadas de decisões em tempo real, sendo também possível detectar falhas nos sistemas de monitoramento.

Com o levantamento dos fornecedores foi possível identificar as premissas do sistema benchmark. Que se assemelhou a um município do interior de São Paulo, contendo 22000 ligações e cerca de 35.000 quilômetros de rede de distribuição, foi adequado alguns itens necessários, a fim de compor o sistema como aumento do número de reservatórios e aumento de número de válvulas redutoras de pressão.

A premissa se estabeleceu entre um menor custo, ou menor tempo de investimento, com maior redução de perdas

Foram realizados 15 cenários, correlacionado entre as duas tecnologias gestão inteligente de água e medição inteligente de água. A variação no investimento também está correlacionada a implantação de troca de hidrômetros e instalação de sensores. Sendo assim quanto maior o índice de cobertura, maior seria o valor do investimento.

Dentre 15 cenários apenas 3 cenários apresentaram uma redução de perdas em 10%, os cenários 1, 8 e 15, ambos com a tecnologia de medição inteligente de água.

O cenário 8 apresentou menor retorno no investimento em apenas 3,7 anos diferente dos demais, o cenário 1 apresentou 5,4 anos e o cenário 15 em 4,8 anos.

Com um investimento de R\$10.687.684,00 o cenário 8 apresentou redução de perdas em 10% e payback de 3,7 anos. Evidenciando o melhor cenário para a implantação da nova tecnologia no sistema benchmark. Sendo assim conclui-se que dentre todos os cenários analisados o melhor cenário analisado seria o 8.

Além disso, com a implantação de medição inteligente de água para o cenário 8, o prejuízo financeiro teve uma queda de 22%, isso por que o cenário do sistema benchmark, apresentou um prejuízo de R\$ R\$16.782.606. Ainda houve prejuízo de R\$13.053.138, porém com queda de 22%.

O estudo aplicado limitou-se a duas tecnologias encontradas, a gestão inteligente de água e a medição inteligente de água. Para a realização de trabalhos futuros, é interessante o contato com mais fornecedores, sobre essas tecnologias e outras tecnologias relacionadas a mitigação de perdas no abastecimento de água, com o objetivo de ampliar a gama de orçamentos e avaliar com mais precisão as diferenças entre os fornecedores. Além disso seria impactante encontrar exemplares científicos que constituíssem algo semelhante ao estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEDEJI, K, B; Towards Digitalization of Water Supply Systems for Sustainable Smart City Development—Water 4.0. **Applied Science**. V12.2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12189174> acesso em 01 de junho de 2024
- AHVENNINEMI, H.; HUOVILA, A.; PINTO-SEPPA, I.; AIRAKSINEN, M.; What are the Differences between Sustainable and Smart Cities? **Cities**. v60. P.234-245.2017
- AL- BULUSHI, M.M.; SULTI, M.M.; ABUSHAMMALA, M.F.M Investigation on water losses in water Supply System: Muscat as case Study.. **MATEC Web of conferences** 203,07004 nº79. Muscat, p1-p7.2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201820307004> .Acesso em 30 de maio de 2024
- ALENZI, M.; CHAI, K, K.; CHEN, Y., JIMAA, S. Ultra-dense LoRaWAN: Reviews and challenges. **IET Commun**.v.14. n.9. p.1391-1371,2020. Disponível em <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.6128> . Acesso em 25 de maio de 2024
- ALVES J. H. **Estudos de indicadores de eficiência hídrica, energética e de sustentabilidade aplicados a sistemas de distribuição de água do Sul de Minas Gerais**.2018 Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2018.
- ALVISI, S.; CASELATTO, F.; FRANCHINI, M.; GOVONI, M.; LUCIANI, C.; POTRONIERI, F.; RIBERTO, G.; STEFANELLI, C.; TORTONESI, M. Wireless Middleware Solutions for Smart Water Metering. **Sensors**.v.19, n.1853.2019.
- AL-WASHALIA, T.; SHARMA, S.; LUPOJA, R.; AL-NOZAILYC; F. HAIDERAC, M.; KENNEDY, M. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. **Resources, Conservation & Recycling Stevinweg**. Netherlands. p-1 p-11.2019.
- ANDRES, L.; BOATENG, K.; BORJA-VEJA, C.; THOMAS, E. A Review of In-Situ and Remote Sensing Technologies to Monitor Water and Sanitation Interventions.2024
- ARDNT, S.; SHEVELEVA, T.; GOEKER, C. Smart grid terminology development-crossing the boundaries of terminology standardization. **Energy, Sustainability and Society**. p.2-18. Germany. 2015.
- BEZERRA, S, T, M.; CHEUNG, P, B. Perdas de Água: Tecnologias de controle. **Editora UFPB**. João Pessoa. 2013.
- CARAGLIU, A.; DEL BO, C, F Smart innovative cities: The impact of smart city policies on urban innovation. **Tecnological Forecasting e social Change**. v142 p373-383. Milão 2018.

CARVALHO, S.M.S.; MARTIN, A. R.; CARNEIRO, A. G.; SANTOS, E. R.; BARBOSA, A. P. T. Smart Cities; avaliação das características dos ecossistemas de inovação de duas cidades inteligentes brasileiras. **Cadernos de Prospecção**.v13, n.3 p.693-706. Salvador.2020.

CARRION, P.; QUARESMA, M. Internet das coisas(IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais.**HFD**.v.8.n15.p.49—66.Rio de Janeiro.2019.

CHICAGO. Smart Grid for a Smart Chicago. Disponível <https://www.chicago.gov/city/en/progs/env/smart-grid-for-a-smart-chicago.html>, Acesso em 22 de abril de 2024.

CLAUDINO. C, M, A.; FARIAS, V.E.M.; BRANDÃO; A. G.; OGATA, S. I.; RAMOS FILHO. R.S.; SENA. T.S.; Avaliação de perdas em um sistema de abastecimento de água de pequeno porte no semiárido brasileiro por aspecto multicriteriais. **Revista de Gestão Água da América Latina**. V18, p-1 p-12. Porto Alegre, 2021.

COLE, A.; STIVAS, D.; TRAN, E.; LAI, C.; The ‘Smart City’ between urban narrative and empty signifier: Hong Kong in focus. **Congent social sciences**. v.9.n1 p1-18.2023.

CORSAN; Companhia Riograndense de Saneamento. **Satélite que busca água em marte procura vazamentos ocultos no Rio Grande do sul**. Disponível em: <https://www.corsan.com.br/satelite-que-busca-agua-em-marte-procura-vazamentos-ocultos-no-rio-grande-do-sul>. Acesso em 01 de junho de 2024.

CURY. M, J, F.; MARQUES. J, A, L, F.; A cidade inteligente: uma reterritorialização. **Redes- Santa do Sul**. V.22, p102-117.Foz do Iguaçu. 2017.

SARISEN, D.; KOUKORAVAS, V.; FARMANI, R.; KAPELAN, Z.; MEMON, F,A. Review of hydraulic modelling approaches for intermittent water supply systems. **AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society**.v.71, n12,2022.

Da SILVA, F, G, B.; REIS, L, F, R.; CALIMAN, R, O.; CHAUDRHY, F,H. Calibração de um modelo de rede de distribuição de água para um setor de abastecimento rela contemplando vazamentos.**RBRH**.v.9 n.1. p.37-54. São Carlos.2004.

De SÁ. D.; REZENDE.D, A. Economia da Inovação no contexto da cidade Digital estratégica: Caso do município de Curitiba. **Perspectivas em gestão e conhecimento**. v9, p62-81. João Pessoa. 2019.

DIVINO, S, B, S.; MAGALHÃES, A, R.; Cidades inteligentes sustentáveis: Estratégias para implementação e efetivação. **RDC**. Belo Horizonte.v.15. n.04, p.1747-1771,2022.

DUTRA. R, H, A; OLIVEIRA.A, L. Utilização de válvulas redutoras de pressão no controle de perdas em redes de abastecimento de água. **Revista DAE**. V65. p123-133.Uberlândia.2017.

EFTHYMIPOULOS, M-P.; Cyber-security in smart cities: the case of Dubai. **Springer**. Dubai.v.5 n.11. 2016.

ESRI. Gestão de ativos com Gis e BIM. Disponível em https://www.img.com.br/pt-br/industrias/arquitetura-engenharia-construcao/solucoes/gestao-de-ativos-com-gis-ebim?utm_source=chatgpt.com. Acesso em maio de 2025.

FAIS. L. M. C F.; FEITOSA. T.; MARTIM. A, L, S, S.; XIMENES. T, S, S. Low-cost system for leak detection in water supply networks. **Holos**.v5. Campinas.2023.

FERREIRA. A, C, L, D.; COELHO.T, R. A participação cidadã na perspectiva de uma cidade inteligente: Um estudo de caso sobre a plataforma “ Fala Curitiba”.**Rev. Informação na Sociedade Contemporânea**. v5. Natal. 2021.

FIGUEREDO, A. A. O.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, S. R.; BEZERRA, S. T. M. Avaliação e potencial de redução de perdas de água em cidades do Estado de Pernambuco com escassez hídrica e abastecimento intermitente. **JEAP**. V8. p212-225.Recife 2023.

FILHO, F, G, G.; BRANDÃO, P, A, I.; BARBOSA, L, D.; RODRIGUES, L, C, A.; COURA, A, M.; SOARES, F, L, A. Calibração de hidrômetro IOT para monitoramento de macromedição. **Revista Contribuciones a las ciencias Sociales**. v.16. n.8. p.16056-13072. São Jose dos Pinhais. 2023.

FORERO-CORBA, W.; NEGRE-BENNASAR, F.Técnicas y aplicaciones del Machine Learning e inteligência artificial em educación: uma revisión sistemática. **RIED**.v.27,p.209-253. UIB.2024.

FRITZ, R, T.; GIMENES, J, De C.; FILHO, A, C De P. FILHO. A study of automation for loss reduction in water distribution system. **BJD**.v.6, p56408-56416.Curitiba.2020.

FUNASA- Fundação Nacional da Saúde. **Ministério da saúde**. Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. 2 ed. Brasília. 2014.

GALVÃO, G, A, S.; CASTRO, H, G, T.; COSTA, B, R, B.; JUNIOR, G, M.; PELLANDA, P, C. Aplicação de gêmeos digitais em um ambiente BIM de monitoramento de estruturas de edificações. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4.2023.

GOMEZ, C.; VERAS, C, J.; VIDA, R.; CASALS, L.; PARADELLS, J.; A Sigfox Energy ConsumptionModel. **Sensores**. V.19, n 19.2019.

GUMIER, C, C.; JUNIOR, L, E. Aplicação De Modelo De Simulação-Otimização Na Gestão De Perda De Água Em Sistemas De Abastecimento. **Eng. sanit. ambient**.v.12 n.1, p32-41, 2007.

HASAN, R, R.; ALWAN, K, H.; MOHAMMED, H, D. Water Supply System Assessment in Urban Areas Using Geospatial Techniques: A Case Study of Baghdad City. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**.v.745.2020.

HUMAYUN, M.; ALSAQER, M. S.; JHANJHI, N. Z. Energy Optimization for Smart Cities Using IoT. **Applied artificial intelligence**. V 36 p2426. Arabia Saudita.2022.

ISEKI, M, P, M.; FIGUEREDO, J, C.; Estudo Prospectivo de Tecnologias para cidades inteligentes. Cadernos de Prospecção.v19 n.1, p.268-268. Salvador. março 2019.

JAVAID, M.; HALEEM, A.Industry 4.0 applications in medical field: A brief review.**Current Medicine Research and practice**.v.9, n.3, p.102-109.2019.

JAWAD, K, W.; Case study of Dubai as a Smart City. **International Journal of Computer Applications**.v.178 n.40 p.35-37.2019.

JUNIOR. M, P.; DUENHAS.R, A; Cidades inteligentes e cidades sustentáveis: convergência de ações ou mera publicidade? **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**. V9. p-317-328.Curitiba. 2020.

JUNIOR.; J.C.S.; VAVATUK.P. Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição. **Revista Delos** Curitiba, v.16, n.42 p.445-470, 2023.

KENENEDY, F, M, L. Aplicação de modelos de otimização na operação de sistemas elevatórios em redes de abastecimento de água. **Revista Principia**. n.51, p167-180, João Pessoa. 2020.

KINGDOM, B., LIEMBERGER, R. & MARIN, P. The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting. **The World Bank** Discussion Paper Number 8. Washington D.C.2006.

KISTMAN, B.; V. Curitiba, minha linda: média digitais, identidade e cidadania. **Revista Lusófona de Estados Culturais**.v.7, n.7, p61-78.2020.

KONDRATYVEVA, T, L.; USHAKOVA, I, G.; KORCHEVSAKAYA, Y, V.; TROTSENKO, I.A.; GORELKINA, G, A. Water supply of Azovsky Nemetsky(German) National District in the Omsk Region: presente-day situation, problems and outlook. **IOP**. Germany.2021.

KUMARY.H.; SINGH.K.; GUPTA. MP.; MADAAN. J. Moving towards smart cities: solutions that lead to the smart city Transformation Framework. **Technological Forecasting and Social Change**. p1-12. Nova Dehi.2020.

KUSTERKO. S.; ENSSILIN. S.R.; SNSSLIN, L.; CHAVES L. C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtiva. **ABES**. Florianópolis UFSC, p615 -p626,2018.

LAI, T, M, C.; COLE, A.; International Perception and Local Pride in Smart City Development: The Case of Hong Kong. **Cambridge University Press**. p.1-20, 2023.

LAVRIC, A.; PETRARIU, I, A.; POPA, V. Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis Under Large-Scale, High-Density Conditions. **IEE Access**. v.7, p.35816-35825, 2019.

LEMOS. A.; MONT' ALVERNE. Smart cities Brazil: experiences under way in Búzios, Porto Alegre and Rio de Janeiro. **Revista comunitária midiática**. V10. p21-39. Bauru.2015.

LENAES, A.; K, SIMUKONDA; R, FAMANI. Calibration of intermittent water supply systems hydraulic models under data scarcity. **Water Supply**. v.24, n.5, p.1626-1644.2024.

LÉVY-BENCHETON, C.; DARRA, E. Cyber security for smart cities an architecture model for public transport. **ENISA**. 2015.

LIMA, S, J; DA SILVA, B, F; DA SILVA, K, S.; Análise de Viabilidade para investimentos em uma planta de aproveitamento do soro do leite. Basr.v. 5, p.1881-1906,2021

LIU, Z.; KLEINER, Y.; OState of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes. **Measurement**. v.46.p1-15.2013.

LOCATELLI. S, S, D.; VICENTI. I, C. O planejamento estratégico para uma cidade inteligente sob a ótica do Curitiba 2035 e o Ranking Connected Smart Cities. **RBPD**.v.8 n.3. Curitiba. 2019.

MACEDO, P, C, D.; ARAÚJO, S, H.; SOUZA, S, A.; Inteligencia computacional aplicada a RSSF: controle de densidade de nós. **Abakós**.2014.

MADEIRA, G.S.; PENA, M.M.; Metodologia de IWA aplicada ao diagnóstico de perdas nos sistemas de abastecimento de água da cidade universitária: Abordagem top-down no dmc da vila residencial da UFRJ. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza. v01.p-1 p23.2020.

MARQUES, L, Do A.; CARVAHO, R, S.; De SÁ, M, O, M.; MALHEIROS, T, F. Benchmarking enquanto ferramenta de diminuição de perdas físicas em sistemas de abastecimento de água. **Revista Ambiente e Sociedade**. São Paulo. v.24, p.1-22. 2021.

MAGALHÃES, T.; TEIXEIRA, L, A. X-06- Combate às perdas através da modelagem hidráulica e ações de perdas aplicadas. In: 32º Congresso da Abes. São Paulo. 2024

MARQUES, L. O. A.; CARVALHO, R. S.; SA, M. O. M.; MALHEIROS, T. F. Benchmarking enquanto ferramenta de diminuição das perdas físicas em sistemas de abastecimento de água. **Revista Ambiente e Sociedade**. São Paulo. V24 p-2 p-19.2021.

- MARZOLA, I.; ALVISI, S.; FRANCHINI, M. Analysis of MNF and FAVAD Model for Leakage Characterization by Exploiting Smart-Metered Data: The Case of the Gorino Ferrarese (FE-Italy) District. **Water**. v.13, n.643, 2021.
- MENSAH, J, H R.; SILVA, A, T, Y, L.; SANTOS, I, F, S.; RIBEIRO, N, S.; GBEDJINO, M, J.; NAGO, V, G.; FILHO, G, L, T.; BARROS, M R. Assessment of electricity generation from biogas in Benin from energy and economic viability perspectives. **Renewable Energy**. v.163, p613-624, 2020.
- MERKULOV, V.; SHEMYAKINA, T.; стратегии создания и развития «умных городов». **UDC**. P39-42. Moscou. 2018.
- MONTEIRO, G, L.; CORDEIRO, M, R.; ARAGÃO, S, JANISI.; DA SILVA, R, M, E.; DA SILVA, G, L. Perdas em sistemas de abastecimento de água em comunidades rurais na região metropolitana do Cariri. **RG&AS**. v9. p-524p-36. Florianopolis, 2020.
- NAVIN, U.; DOHARE, D. A Critical Review on Design and Analysis of Water Distribution Network Using WaterGEMS and EPANET Softwares. **Samriddhi**. v.14, n.3, 2022.
- NORONHA, M.; MARTINS, J.. Apoi da IA à agilidade organizacional nas empresas de tecnologia limpa para orquestração de recursos. **RASI**. v.9.n.2 p66-89. Volta Redonda- RJ. 2023.
- VELAYUDHAN, A.K.; PRADEEP, P.; RAO, S, N.; DEVIDAS, A, R.; RAMESH, M, V. IoT-Enabled Water Distribution Systems—A Comparative Technological Review. **SURVEY**. v10 p101043-101070. India, 2022.
- OKOLI, N, J., KABASO, B.; Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions. **Water**. v16. p1-25. Cidade do Cabo. 2024.
- OLATINWO, O, S.; JOUBERT, T.; Enabling Communication Networks for Water Quality Monitoring Applications: A Survey. . **IEE Access**. v.7. p.100332-100362. 2019
- OLIVEIRA J, P, L; VIEIRA, S, A. Cidades inteligentes – práticas e indicadores adotados no âmbito internacional. **Revista Gestão de Secretariado**. v14.p20641-20661. São Paulo. 2023.
- PALUCCI, J, A.; MOREIRA, G, C. Viabilidade econômica de uma biofabrica para controle da Cigarrinha das raízes em usina de açúcar e álcool. **Revista IPECEGE**. v.1, n.3/4, p.54-74. 2015.
- PEREIRA, F.S.; TINOCO, D.J. Avaliação de perdas de água em sistema de abastecimento de água: estudo do setor parque das nações, Parnamirim/RN. **Revista Eletrônica de Gestão Ambiental e Tecnologias Ambientais**. Rio Grande no Norte V.9 n3. p-32 p-45. 2021.
- PHONG, H, N.; PHUC, V, N.; HUY, M, N.; DUNG, P.; PHUONG, M, I. Development and Implementation of Smart Water Metering System based on Lora Technolog.

Science & Technology Development Journal – **Engineering and Technology**. V.5. n1. p1342-1370.Montreal. 2022.

PINTO, R. E. L.; SILVA, L. V. R.; ALMEIDA, F. M.; ALMEIDA JÚNIOR, J. T. A.; CONDÉ JÚNIOR, S. S.; LUCAS JÚNIOR, V. S. Aplicação da metodologia IWA para Redução das perdas de água em sistemas de abastecimento da região leste de Minas Gerais **ATHENA**. Belo Horizonte, v. p11- p123, 2023.

PIX FORCE. Cidades Inteligentes: como as novas tecnologias beneficiam o dia a dia dos cidadão.São Paulo-SP. Disponível em:<https://pixforce.ai/cidades-inteligentes-como-as-novas-tecnologias-beneficiam-o-dia-a-dia-dos-cidadaos/>. Acesso em 10 abril de 2024.

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico Disponível em: <https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/index.php/saneamento-basico>, acesso em 10 de novembro de 2023.

PORTO, B, J.; MACADAR, A, M. Em busca de boas práticas para uma metodologia em cidades inteligentes baseada em valor público. **Procedimentos do CONF-IRM**. 2017.

PORTO, R. de M. Hidráulica Básica. 4ª ed. São Carlos Escola de Engenharia de Carlos, Universidade de São Paulo 519p.2006.

RAMOS, H. M.; Morani, M. C.; CARRAVETTA, A.; FECARROTTA, O.; ADEYEYE, K.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. A.; PÉREZ-SÁNCHEZ, M. New Challenges towards Smart Systems' Efficiency by Digital Twin in Water Distribution Networks. **WATER**. V14.p1-17. Lisboa.2022.

REIA, J.; CRUZ, L. Cidade inteligentes no Brasil: conexões entre o poder corporativo, direitos e engajamento cívico. **Caderno Metrópole**, São Paulo, v.25 n.57, p.467-490,2023.

RIBAS, M, L.; CARLI, G, F.; Cidade inteligentes: Planejamento e extrafiscalidade. **RDC**, Rio de Janeiro. v.14 n.02, p 976-99, 2022.

ROJEK. I; STUDZINSKIN; J.; Detection and Localization of Water Leaks in Water Nets Supported by an ICT System with Artificial Intelligence Methods as a Way Forward for Smart Cities. **Sustainability**.2019.

SABESP. **Apresentação Institucional Sabesp 2023**.Disponível em< <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/9e47ee51-f833-4a23-af98-2bac9e54e0b3/35503f6c-6527-4795-f31b-a9801463556e?origin=1> 1> acesso em novembro 2024. São Paulo.

SABESP. **CONTROLE DE PERDAS**. São Paulo, Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/obras-programas/reducao-perdas/controle-perdas>. acesso em 25 de novembro de 2023.

SABESP; Companhia de saneamento básico do estado de São Paulo. **Hidrômetros inteligentes: medição do consumo com leitura remota**. São Paulos Disponível

em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=732>. acesso em 10 de maio de 2024.

SALOMÃO, L. G.; SILVA H, J.; SILVA, M, J, M.; ZADOROSNY, L. Avaliação do impacto de urbanização em sistema de abastecimento de água. **Unifunec científica multidisciplinar**. 2022.

SAMA, S.; RAMANUJ, P.; PATEL, M, V. Designer and optimization od water distribution network using watergems software: A case study od Adhewada, Bhavnagar.**IRJSET**. v.13.p.1404-1410. Bhavnagar India.2025.

SANCINO.A.; HUDSON.L. Leadership in of, and for smart cities – case studies from Europe, America, and Australia. **Taylor e Francis Group**.v22, p701-725, Bristol.2020.

SANTOS, D, D.; MONTEMEGREGIO, S, M, G, L. Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em rede de distribuição no Recife-PE. **Revista DAE**.n.197. p.56-197. Recife.2013.

SAGATECH. Saneamento e Gestão de Água. Disponível em <https://sagatechbrasil.com.br/> acesso em novembro de 2024.

SHEFFIELD, J.; WOOD, E, F.; PAN, M.; BECK, H.; COCCIA, G.; SERAAT-CAPDEVILA, A.; VERBIST, K. Satellite Remote Sensing for Water Resources Management: Potential for Supporting Sustainable Development in Data-Poor Regions. **Water Resources Research**.v.54, p.9724-9758, 2018.

SILVA, O, A V.; CONTRERAS, F. Proposta de otimização do transporte de resíduos sólidos urbanos coletados no Distrito Federal. **RTS**.v.16. n.41. p.153-162. Curitiba. 2020.

SMART CITY Expo word Congress. Disponível em: <https://www.smartcityexpo.com/world-smart-city-awards-2023/> Acesso em 20 de maio de 2024.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre o Diagnóstico Temático dos serviços de água e esgoto-a no de referência 2022.**Ministério das cidades**. Brasília. 2023.

SOARES, A, K.; CHEUNG, P, B.; REIS, L, F, R.; SANDIM, M, P. Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso. **Eng. sanit. Ambiental**. V.9, n4, p.312-321, 2004.

STATTUS4. Tecnologia para preservar o essencial. Disponível em< <https://status4.com/>> acesso em novembro de 2024.

STRIDER, J A.; CUNICO, E.; WALTER, S, A. Estudo de viabilidade econômico – financeira de loja física do ramo de produtos personalizados em Marechal Candido Rondon-PR. **Caderno de Ciências Sociais Aplicadas**.v19, n.34, 2022.

SYED, S, A.; SIERRA-SOSA, D.; KUMAR, A.; ELMAGHRABY, A. Making Cities Smarter—Optimization Problems for the IoT Enabled Smart City Development: A Mapping of Applications, Objectives, Constraints. **Sensors**. v.22 n.4380.2022.

TANAKA, T.; KANECO, S.; AYOMA, N.; TORIYAMA, Y. Application of water supply operation system to improve efficiency of hydraulic power Generation. **Water Practice & Technology**.v.14. n.3. Tokyo 2019.

TOH, K, C. Security for smart cities. **IET Smart Cities**. v.2 n.2 p.95-104.2020.

TORRES, A, I.; JÚNIOR, O, G, D. As contribuições do valor presente líquido, da taxa interna de retorno, do payback e do fluxo de caixa descontado para avaliação e análise de um projeto de investimento em cenário hipotético. **Universitas Gestão e TI**. v.3, n.1, p.85-95.2013.

VILLARIM, A, W, R.; SOUTO, C, R.; VILLARI, M, R. Análise experimental da comunicação Lora em ambientes subterrâneos para aplicações lot. **RBCA**.v.15,n.3, p.38-47,2023.

VIRTUDES, A.; ABBARA, A.; SÁ, J.; Dubai: A Pioneer Smart City in the Arabian Territory. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**.v.245, ed.5 Portugal. 2017.

WATER ON LINE. Predictive IA is Helping Utilities Mitigate costly pipe failure. Disponível em < <https://www.wateronline.com/doc/predictive-ai-is-helping-utilities-mitigate-costly-pipe-failure-0001>> acesso em julho de 2024.

WATER SUPPLY IN TOKYO. Business outline. Tokyo. 2023 Disponível em< <https://www.english.metro.tokyo.lg.jp/directory-of-bureaus/waterworks>> acesso em julho de 2024.

WEIS, C, M. Posicionamento da indústria TIC para a construção das cidades inteligentes no Brasil: resultados de um levantamento com sete gigantes do setor. **Revista Tecnologia e Sociedade**. Curitiba, v.15, n.36, p.165-189, 2019.

WEIS, M, C.; BERNARDES, R, C.; CONSONI, L, F. Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanos: a experiência da cidade de Porto Alegre. **Revista brasileira de gestão urbana**. Porto Alegre. v.7, n.3, p310-324,2017.

WIETZEKE JUNIOR, G, D.; COLOMBINI, W.; ALVARENGA, F.; MARQUES, C, D.; MIRANDA, F, V.; MELO, V, R, A.; Redução de Perdas e Melhoria de Infraestrutura de Sistema de Abastecimento de água em região de elevada vulnerabilidade – VRP Beira Rio em Guarulhos – SP. *IN: Encontro Técnico AESABESP*,10., 2022, São Paulo **Anais[..]**.São Paulo:2022 disponível em < <https://fenasan.com.br/2022/09/15/curtas-fenasan-2022-2/>>

WU, F.; MA, W.; Clustering Analysis of the Spatio-Temporal On-Street Parking Occupancy Data: A Case Study in Hong Kong. **Sustainability**. v.14,2022

Wu, Y.; ZHANG, W.; SHEN, J.; MO, Z.; PENG, Y.; Smart city with Chinese characteristics against the background of big data: Idea, action and risk. **Journal of Cleaner Production**, Hangzhou, v.173, p.60-66, 2018.

ZARLI, A; REZGUI, Y.; BELZITI, D.; DUCE, E. Water analytics and Intelligent sensing for demand Optimised management: The Wisdom vision and approach. **Procedia Engineering**. v.89, p.1050-1057, 2014.

8 ANEXO A – CÁLCULOS

8.1 Cálculo do Consumo Total

$$\text{Consumo Total(m}^3\text{/ano)} = \text{Ligações}_{\text{Benchmark}} \times \text{Volume médio por ligação} \quad (4)$$

$$\text{Consumo Total} = 22000 \times 318$$

$$C = 6.986.170,00 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$

8.2 Cálculo do Custo Operacional

$$\text{Custo Operacional(R\$)} = \text{Consumo Total} \times \text{Gasto} \quad (5)$$

$$\text{Custo Operacional} = 6.986.170,00 \times 5,34$$

$$\text{Custo Operacional} = \text{R\$ } 37.294.681,00$$

8.3 Cálculo do Prejuízo Financeiro

$$\text{Prejuízo Financeiro(R\$)} = \text{IP} \times \text{Custo operacional} = 45\% \times 37.294.681,00 \quad (6)$$

$$\text{Prejuízo Financeiro} = \text{R\$ } 16.782.606/\text{ano}$$

8.4 Cálculo do Valor livre

$$\text{Valor livre (R\$)} = \text{Custo operacional} - \text{Prejuízo Financeiro} \quad (7)$$

$$\text{Valor livre (R\$)} = 37.294.681 - 16.782.606$$

$$\text{Valor livre} = \text{R\$ } 20.512.074,47$$

8.5 Cálculo da Economia para os cenários 2 e 8.

$$E = \text{Prejuízo Financeiro} - (\text{Custo Operacional} \times \text{IP}_{\text{estimado}}) \quad (8)$$

$$E_{C2} = 16.782.060,00 - (37.294.681 \times 0,43)$$

$$E_{C2} = \text{R\$ } 745.894,00$$

$$E_{C8} = 16.782.060,00 - (37.294.681 \times 0,35)$$

$$E_{C8} = \text{R\$ } 3.729.468,00$$

8.6 Cálculo do Payback simples para o Cenários 2 e 8

$$\text{PB}_{\text{simples}} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia}} \quad (9)$$

$$\text{PB}_{\text{simples } C2} = \frac{127.333,00}{745.894,00}$$

$$PB_{\text{simples}}_{c2} = 0,17 \text{ anos}$$

$$PB_{\text{simples}}_{c8} = \frac{10.687.684,00}{3.729.468,00}$$

$$PB_{\text{simples}}_{c1} = 3,7 \text{ anos}$$