

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE PROJETOS - PPGP
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO

INTERNET DAS COISAS (IOT) DA INDÚSTRIA 4.0: OPORTUNIDADES E
DESAFIOS EM IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE HIDRÔMETROS
INTELIGENTES

André Leite Henriques

São Paulo
2025

André Leite Henriques

IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE INTERNET DAS COISAS (IOT) DA
INDÚSTRIA 4.0: OPORTUNIDADES E DESAFIOS DE HIDRÔMETROS
INTELIGENTES

**Implementation of Internet of Things (IoT) Projects in Industry 4.0:
Opportunities and Challenges of Smart Water Meters**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Mestrado Profissional em Administração, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Administração**.

ORIENTADOR: PROF. DR. WALTER CARDOSO SÁTYRO

São Paulo

2025

Henriques, André Leite.

Internet das coisas (IoT) da indústria 4.0: oportunidades e desafios em implementação de projetos de hidrometros inteligentes. / André Leite Henriques. 2025.

94 f.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2025.

Orientador (a): Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro.

1. Internet das coisas. 2. Indústria 4.0. 3. Saneamento básico. 4. Hidrômetros inteligentes. 5. Transformação digital.

I. Sátyro, Walter Cardoso.

II. Título

CDU 658.012.2



DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

André Leite Henriques

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Mestrado Profissional em Administração, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Administração**.

São Paulo, 11 de dezembro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof.(a) Dr.(a). Walter Cardoso Sátyro (ORIENTADOR)

Prof.(a) Dr.(a). Renato Penha (UNINOVE)

Prof.(a) Dr.(a). Julio Araujo Carneiro da Cunha (ESPM)

“As árvores, as plantas, são macias e tenras quando novas.
Secas e duras quando morrem.
A firmeza e resistência são sinais da morte.
A fraqueza e flexibilidade, manifestações da vida.
Assim, o homem que acredita na resistência de suas forças
não conquista ninguém, e como árvore dura
e rígida logo apodrecerá.
Portanto, o lugar do firme e forte é embaixo
e do macio e fraco em cima.” (Lao Tsé, Tao Té Ching)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com todo meu carinho e gratidão à minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio, paciência e incentivo em cada etapa desta jornada. Vocês foram minha base e minha motivação para seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, dedicação e pelos valores que me ensinaram, fundamentais para que eu chegasse até aqui. Sem vocês, este sonho não seria possível.

À minha esposa Michelle, pelo companheirismo, compreensão e força que me sustentaram nos dias mais difíceis. Obrigado por acreditar em mim e compartilhar cada conquista.

E aos amigos que estiveram presentes, tornando os momentos de estudo mais leves e alegres, minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTO

A realização deste trabalho é fruto de uma caminhada marcada por desafios, aprendizados e conquistas, que só se tornou possível graças ao apoio e à colaboração de pessoas e instituições que estiveram ao meu lado. A todos, registro minha mais profunda gratidão.

Agradeço à Universidade Nove de Julho (UNINOVE) pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional, e ao Fundo de Apoio à Pesquisa, cuja bolsa foi essencial para tornar este projeto viável. Estendo meu reconhecimento à reitoria e à equipe administrativa, pelo suporte contínuo.

Meu sincero agradecimento aos professores do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos (PPGP), que compartilharam conhecimento com dedicação e entusiasmo, contribuindo para minha formação e para a qualidade desta pesquisa. Cada orientação, cada aula e cada troca de experiência foram fundamentais para este resultado.

Aos colegas de mestrado, agradeço pela parceria, pelas discussões enriquecedoras e pelo espírito colaborativo que tornou esta jornada mais leve e produtiva. Cada conversa e cada desafio compartilhado reforçaram a importância do aprendizado coletivo.

De forma especial, expresso minha gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro, pela orientação segura, paciência e incentivo ao longo de todo o processo. Sua experiência e comprometimento foram decisivos para que este trabalho alcançasse seus objetivos.

Por fim, agradeço à minha família, pelo amor incondicional, compreensão e apoio em todos os momentos. Vocês foram minha base e minha motivação para seguir em frente, mesmo diante das dificuldades. Sem vocês, este sonho não seria possível.

RESUMO

Este estudo realiza uma análise sobre a implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) dentro do contexto da Indústria 4.0, com foco no setor de saneamento básico, explorando a adoção de hidrômetros inteligentes como principal tecnologia estudada. O principal objetivo é identificar as oportunidades que essas tecnologias podem proporcionar, bem como os desafios enfrentados pelas empresas de saneamento na integração da IoT aos seus processos operacionais e de gestão, visando a transformação digital e a sustentabilidade do setor. A pesquisa adotou uma abordagem metodológica mista, combinando revisão sistemática da literatura com estudo de campo qualitativo e quantitativo. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com profissionais e gestores do setor, além da aplicação de questionários estruturados utilizando escala de avaliação linguística Fuzzy, para captar percepções sobre os principais fatores que influenciam a implementação da IoT. Essa triangulação metodológica possibilita uma análise que contempla aspectos técnicos, organizacionais e culturais. Utilizou-se análise multicritérios para a priorização dos fatores críticos de sucesso e dos obstáculos mais relevantes, fornecendo base científica para gestores, decisores e profissionais do saneamento básico que buscam implementar tecnologias IoT de forma eficiente e sustentável. Como resultados, evidenciou-se que a adoção da IoT promove ganhos expressivos na eficiência operacional, destacando-se o monitoramento em tempo real dos recursos hídricos, a manutenção preditiva que reduz falhas e o aprimoramento na gestão do consumo de água. Por outro lado, a implementação desses projetos é afetada por diversas barreiras, tais como elevados custos iniciais, dificuldades na integração com sistemas legados, questões relacionadas à segurança cibernética e à privacidade dos dados, além da necessidade de capacitação técnica e da superação da resistência organizacional. A pesquisa também ressalta a importância do alinhamento estratégico, da governança eficaz e da cooperação entre os diferentes atores envolvidos para maximizar os benefícios dessa transformação. Adicionalmente, espera-se que a implementação efetiva da IoT no saneamento básico contribua eficazmente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 6, relacionado ao acesso universal e sustentável à água potável e ao saneamento. Este trabalho pretende não apenas ampliar o conhecimento acadêmico, mas também oferecer orientações práticas para que o setor avance rumo à inovação tecnológica com responsabilidade ambiental e social. Por fim, o estudo pretende evidenciar que a integração da IoT como pilar da Indústria 4.0 é um caminho importante para a modernização do saneamento básico, representando uma oportunidade estratégica para enfrentar os desafios atuais e futuros, garantir a eficiência operacional e promover a sustentabilidade ambiental. Este estudo contribui para a linha de pesquisa em Indústria 4.0/5.0 e Inteligência Artificial, no contexto de Gestão Avançada de Projetos, Programas e Portfólios, reforçando a importância da inovação tecnológica como vetor de transformação e competitividade.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Indústria 4.0, Saneamento Básico, Hidrômetros Inteligentes, Transformação Digital, Implementação de Projetos

ABSTRACT

This study analyzes the implementation of Internet of Things (IoT) projects within the context of Industry 4.0, focusing on the water and sanitation sector and exploring the adoption of smart water meters as the main technology under review. The primary objective is to identify the opportunities these technologies can provide, as well as the challenges faced by sanitation companies in integrating IoT into their operational and management processes, aiming for digital transformation and sector sustainability. The research adopted a mixed methodological approach, combining a systematic literature review with qualitative and quantitative field studies. Semi-structured interviews were conducted with professionals and managers in the sector, along with structured questionnaires using a Fuzzy linguistic evaluation scale to capture perceptions of the key factors influencing IoT implementation. This methodological triangulation enables an analysis that encompasses technical, organizational, and cultural aspects. A multi-criteria analysis was used to prioritize critical success factors and the most relevant obstacles, providing a scientific basis for managers, decision-makers, and sanitation professionals seeking to implement IoT technologies efficiently and sustainably. The results show that IoT adoption delivers significant operational efficiency gains, notably real-time monitoring of water resources, predictive maintenance that reduces failures, and improved water consumption management. On the other hand, the implementation of these projects is affected by several barriers, such as high initial costs, difficulties integrating with legacy systems, issues related to cybersecurity and data privacy, as well as the need for technical training and overcoming organizational resistance. The research also highlights the importance of strategic alignment, effective governance, and cooperation among different stakeholders to maximize the benefits of this transformation. Additionally, it is expected that effective IoT implementation in the sanitation sector will contribute significantly to the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 6, which relates to universal and sustainable access to safe water and sanitation. This work aims not only to expand academic knowledge but also to provide practical guidelines for the sector to advance toward technological innovation with environmental and social responsibility. Finally, the study seeks to demonstrate that integrating IoT as a pillar of Industry 4.0 is an important path for modernizing the sanitation sector, representing a strategic opportunity to address current and future challenges, ensure operational efficiency, and promote environmental sustainability. This study contributes to the research line on Industry 4.0/5.0 and Artificial Intelligence within the context of Advanced Project, Program, and Portfolio Management, reinforcing the importance of technological innovation as a driver of transformation and competitiveness.

Keywords: Internet of Things, Industry 4.0, Water and Sanitation, Smart Water Meters, Digital Transformation, Project Implementation

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – Analytic Hierarchy Process

ANP – Analytic Network Process

API – Application Programming Interface

BDTD – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações

BI – Business Intelligence

BWM – Best Worst Method

CAPEX – Capital Expenditure (Investimento de Capital)

CPS – Cyber Physical System (Sistema Ciberfísico)

CRM – Customer Relationship Management

CRITIC – Criteria Importance Through Intercriteria Correlation

GPRS – General Packet Radio Service

IA – Inteligência Artificial

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEW – Information Entropy Weight

IoT – Internet of Things (Internet das Coisas)

LGPD – Lei Geral de Proteção de Dados

MCDM – Multi-Criteria Decision Making (Decisão Multicritério)

MTTR – Mean Time to Repair (Tempo Médio para Reparo)

NB-IoT – Narrowband Internet of Things

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

OPEX – Operational Expenditure (Despesa Operacional)

OT – Operational Technology

PMI – Project Management Institute

PMBOK – Project Management Body of Knowledge

PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

RFID – Radio Frequency Identification

ROI – Return on Investment (Retorno sobre Investimento)

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

SDG – Sustainable Development Goals (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)

SLA – Service Level Agreement (Acordo de Nível de Serviço)

ISO – International Organization for Standardization

SWARA – Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

TAM – Technology Acceptance Model

TCO – Total Cost of Ownership (Custo Total de Propriedade)

TI – Tecnologia da Informação

TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

WSN – Wireless Sensor Network (Rede de Sensores Sem Fio)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Desafios e Oportunidades da Implementação de IOT no Saneamento Básico.....	30.
Tabela 2: Aplicações da IoT no Saneamento Básico.....	31.
Tabela 3. Modelo teórico.....	35.
Tabela 4: Escala de Expressão Linguística em Números Fuzzy Trinagulares.....	42.
Tabela 5: Matriz de Amarração.....	48.
Tabela 6: Relação de Participantes.....	52.
Tabela 7: Classificação das Respostas (Ranking TOPSIS).....	59.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Função de pertinência triangular para o conjunto fuzzy A.....	44
--	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	18
1.2	OBJETIVOS.....	20
1.2.1	GERAL.....	20
1.2.2	ESPECÍFICOS	20
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	PROJETOS.....	23
2.2	INDÚSTRIA 4.0.....	24
2.3	INTERNET DAS COISAS (IOT)	25
2.4	IMPLEMENTAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)	27
	TABELA 1: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DE IOT NO SANEAMENTO BÁSICO	29
2.5	IOT NO SANEAMENTO BÁSICO	29
2.6	HIDRÔMETROS INTELIGENTES	34
2.7	OPORTUNIDADES EM PROJETOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE HIDRÔMETROS INTELIGENTES	35
2.8	DESAFIOS EM PROJETOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE HIDRÔMETROS INTELIGENTES	36
3	MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA	39
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	39

3.1.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	40
3.1.2	PESQUISA MISTA.....	41
3.1.3	ESTUDO DE CAMPO	42
3.1.4	FORMULÁRIOS	43
3.1.5	ESCALA DE EXPRESSÃO LINGUÍSTICA	43
3.1.6	TRIANGULAÇÃO DE DADOS	44
3.1.7	ANÁLISE MULTICRITÉRIOS.....	45
3.1.8	MÉTODO FUZZY-TOPSIS	46
3.1.9	Entropia Fuzzy de Shannon para definição dos pesos dos critérios	48
3.1.10	O método TOPSIS de Entropia Fuzzy.....	50
3.1.11	MATRIZ DE AMARRAÇÃO	52
3.2	UNIDADE DE ANÁLISE.....	57
3.3	PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS.....	57
3.4	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS	59
3.5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	60
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
4.1	RESULTADOS	62
4.2	ANÁLISE E DISCUSSÃO	65
4.2.1	OPORTUNIDADES.....	65
4.2.2	DESAFIOS	68
4.3	SÍNTESE DOS RESULTADOS	70
5	CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA.....	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6.1	CONTRIBUIÇÕES PARA A ACADEMIA	76
6.2	LIMITAÇÕES.....	77

6.3	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	78
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A –TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	85
	APÊNDICE B – PROTOCOLO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS	87
	APÊNDICE C – ROTEIRO DE ENTREVISTAS	88
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO	90

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a humanidade vivenciou quatro revoluções industriais, cada uma marcada por transformações significativas nos processos produtivos e por expressivos ganhos de produtividade (De Souza et al., 2023; Morrar, Arman, & Mousa, 2017). Atualmente, a chamada Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial vem redefinindo paradigmas em diversos setores, impulsionada por tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, *big data* e computação em nuvem (Suder et al., 2024). A Indústria 4.0 representa a convergência de sistemas ciberfísicos, automação e troca de dados em tempo real, promovendo operações mais eficientes, inteligentes e conectadas (Schwab, 2020).

É relevante destacar que este projeto de IoT busca trazer inovação para melhorar a vida da população. Sua magnitude social é expressiva, pois contribui diretamente para garantir acesso à água potável, reduzir desperdícios e promover sustentabilidade. Ao integrar tecnologia e propósito social, a IoT no saneamento básico não apenas moderniza processos, mas também atua como instrumento de inclusão e qualidade de vida, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 – Água potável e Saneamento).

A Indústria 4.0 se baseia em três pilares: (1) Sistema Cyber Físicos (*Cyber Physical System* -CPS), que propicia a conexão para troca de dados; (2) Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) que possibilita a interação entre objetos físicos e seres humanos; (3) Internet de Serviços (*Internet of Services* - IoS) permitindo que serviços possam ser ofertados contratados e remunerados por meio da Internet (Sacomano et al., 2018). Nesse contexto, a IoT tem um papel relevante, pois permite a interconexão de dispositivos e sistemas que coletam e trocam dados, viabilizando tomadas de decisão baseadas em dados, cada vez mais precisas (Xu et al., 2022).

A introdução da Indústria 4.0 responde à crescente demanda por flexibilidade, eficiência e personalização na produção industrial (Schwab, 2020). Por meio da IoT, empresas podem integrar seus sistemas de produção a uma rede global de informações, permitindo análise e controle detalhados em cada etapa do processo produtivo (Kumar et al., 2020). Isso resulta em uma maior eficiência operacional e na capacidade de ofertar produtos personalizados, alinhados às necessidades do cliente (Kumar et al., 2020).

A IoT se refere a uma rede de dispositivos físicos, veículos, edificações e outros itens com eletrônica, software, sensores e demais objetos, dispositivos, ou “coisas”, interconectados em rede, possibilitando a coleta e troca de dados (Sung, 2021). Esses dispositivos interagem entre si e com sistemas centrais, facilitando o monitoramento e controle de processos em tempo real.

No ambiente industrial, a IoT possibilita a implementação de sistemas de monitoramento remoto, manutenção preditiva e otimização em tempo real. Tais sistemas conseguem prever falhas, reduzir o tempo de inatividade e aumentar a eficiência geral das operações. Além disso, a IoT facilita a gestão de recursos como energia e água, monitorando o consumo e identificando oportunidades de economia (Verma & Agrawal, 2021). As aplicações da IoT transcendem o ambiente industrial, atingindo outras áreas do conhecimento, como na saúde, denominada Saúde 4.0, ou Healthcare 4.0, abarcando outros setores de atuação, como as cidades inteligentes, gerenciamento de energia e serviços essenciais, sendo empregada nas mais diversas finalidades (Li et al., 2020; Sacomano et al., 2018).

Nas cidades inteligentes, a IoT é utilizada para gerenciar o tráfego, monitorar a qualidade do ar, otimizar a iluminação pública e melhorar a gestão de resíduos, criando ambientes urbanos mais eficientes e sustentáveis (Kumar et al., 2021). Já no setor de transmissão de energia, a IoT monitora redes elétricas em tempo real, possibilitando uma distribuição mais eficiente e a detecção precoce de falhas, o que eleva a confiabilidade e reduz perdas (Mishra et al., 2022).

Em setores de serviços como saúde, transporte e varejo, a IoT otimiza operações e melhora o atendimento ao cliente. No setor de saúde, por exemplo, dispositivos conectados monitoram a condição de pacientes em tempo real, possibilitando intervenções rápidas e personalizadas (Wang et al., 2021). No transporte, a IoT facilita a gestão de frotas, rastreamento de veículos e otimização de rotas, resultando em ganhos de eficiência e redução de custos.

Apesar das oportunidades oferecidas pela IoT, a sua implementação apresenta desafios relevantes, especialmente no que se refere à segurança e à privacidade dos dados. A vulnerabilidade dos dispositivos conectados é um problema constante, assim como a proteção dos dados coletados (Alaba et al., 2022). Além disso, a integração de tecnologias IoT com sistemas legados pode ser complexa e exigir altos investimentos em infraestrutura e capacitação de pessoal (Xu et al., 2020).

Por outro lado, as oportunidades proporcionadas pela IoT são vastas. A possibilidade de monitorar e controlar processos em tempo real pode gerar ganhos significativos de eficiência e

redução de custos. Contudo, para que tais benefícios sejam explorados ao máximo, é essencial que as organizações estejam preparadas para enfrentar os desafios associados a essa tecnologia (Zhang et al., 2021).

Assim, a IoT representa uma tecnologia basilar no conceito de Indústria 4.0, com o potencial de transformar inúmeros setores por meio da digitalização e automação dos processos (Sacomano et al., 2018). Entretanto, a adoção da (IoT) exige uma análise criteriosa dos desafios envolvidos, especialmente no que diz respeito à segurança, privacidade e custos de integração. Estudos recentes destacam que a IoT amplia significativamente a superfície de ataque cibernético, tornando a proteção de dados um dos principais desafios para organizações que utilizam essa tecnologia (Alaba et al., 2022). Além disso, os custos iniciais associados à infraestrutura e à capacitação de pessoal representam barreiras críticas, que podem limitar a escalabilidade das soluções IoT em setores como o saneamento básico (Mishra et al., 2022).

Com o contínuo avanço tecnológico, as organizações precisam adotar estratégias que permitam uma transição mais suave e eficiente para as soluções baseadas em IoT. Isso inclui a implementação de protocolos de segurança robustos, o uso de plataformas interoperáveis e o desenvolvimento de capacidades analíticas avançadas para transformar dados em conhecimento (Zhang et al., 2021). Dessa forma, as organizações poderão se adaptar a essas novas realidades e aproveitar plenamente as oportunidades oferecidas pela IoT, melhorando a eficiência operacional e promovendo a sustentabilidade ambiental (Kumar et al., 2020).

Entre as soluções tecnológicas viabilizadas pela IoT, destaca-se o hidrômetro inteligente, um dispositivo que mede o consumo de água em tempo real e transmite os dados de forma remota. Por ser um equipamento novo no Brasil, ainda demanda maior análise quanto à sua viabilidade de implementação, custos envolvidos e desafios operacionais, especialmente em setores como o saneamento básico (Silva & Rocha, 2018). A compreensão mais profunda sobre os impactos da adoção desse tipo de tecnologia é relevante e constitui o foco do presente trabalho.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) no âmbito da Indústria 4.0 tem sido objeto de intensas discussões na literatura contemporânea, particularmente em setores que requerem modernização tecnológica para melhorar a eficiência e qualidade dos serviços

oferecidos (Xu et al., 2022; Schwab, 2020). No setor de saneamento básico, essas inovações encontram barreiras significativas, tanto no âmbito tecnológico quanto organizacional, destacando a necessidade de uma análise mais aprofundada dos desafios enfrentados (Mishra et al., 2022; Verma & Agrawal, 2021).

Os dispositivos IoT, como hidrômetros inteligentes, são ferramentas estratégicas que permitem monitoramento remoto e manutenção preditiva, possibilitando uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos (Mishra et al., 2022). Esses equipamentos são importantes para superar limitações dos sistemas tradicionais, como a detecção tardia de vazamentos, que frequentemente resulta em desperdício de água e custos elevados para consumidores e empresas (Mishra et al., 2022). Além disso, a automação de hidrômetros promove a precisão no consumo registrado e facilita a identificação de vazamentos, contribuindo para uma alocação de recursos mais eficaz (Verma & Agrawal, 2021).

Estudos recentes reforçam o impacto transformador da IoT em setores diversos. Szukits (2022) explora como a orientação digital, aliada ao uso de controladores inteligentes, aprimora a capacidade de gerar percepções inteligentes, resultando em processos otimizados. Xu et al. (2022) propõem a integração da transformação digital com DataOps, uma abordagem que permite às organizações lidar com incertezas em ambientes complexos, como os encontrados na gestão de saneamento básico. Essa integração é importante para a eficácia dos hidrômetros inteligentes, especialmente em regiões onde os sistemas legados apresentam limitações significativas (Li et al., 2020).

No saneamento básico, a IoT proporciona vantagens substanciais, como a gestão em tempo real dos recursos hídricos e a manutenção preditiva, que reduzem falhas e garantem maior sustentabilidade operacional (Li et al., 2020). Contudo, a implementação de dispositivos IoT em sistemas de saneamento enfrenta desafios relacionados à integração com infraestruturas antigas, que frequentemente carecem de flexibilidade e padrões compatíveis (Li et al., 2020). Além disso, questões de segurança cibernética permanecem um obstáculo relevante, dada a sensibilidade dos dados coletados e a vulnerabilidade das redes conectadas (Rizk, 2023).

Um aspecto crítico é a necessidade de superar barreiras culturais e organizacionais para implementar essas tecnologias. McKinsey (2021) destaca que a adoção bem-sucedida da IoT exige não apenas investimentos em tecnologia, mas também mudanças estruturais dentro das organizações, como requalificação de equipes e reestruturação de processos gerenciais. Esse enfoque colaborativo é importante para maximizar os benefícios da IoT e garantir sua sustentabilidade a longo prazo.

Apesar do crescente corpo de pesquisa, ainda existem lacunas significativas na literatura sobre os desafios e oportunidades específicos da IoT em saneamento básico, como os hidrômetros inteligentes. Muitas organizações lutam para equilibrar os custos iniciais de implementação com os benefícios potenciais a longo prazo. Além disso, a falta de padronização nos sistemas de monitoramento de água dificulta a interoperabilidade entre dispositivos, limitando a expansão de soluções inteligentes em grande escala (Mishra et al., 2022).

A automação e digitalização no saneamento básico não são apenas um avanço tecnológico, mas também uma necessidade estratégica para enfrentar os desafios impostos pela urbanização e mudanças climáticas (Sabesp, 2024). Ao abordar as barreiras e explorar as oportunidades oferecidas pela IoT, este estudo busca promover uma transformação sustentável e eficaz no gerenciamento dos recursos hídricos (Schwab, 2020; Zhang et al., 2021),

Neste contexto, esta pesquisa busca preencher essas lacunas, aprofundando a análise dos principais desafios e oportunidades percebidos pelos atores envolvidos em projeto de implementação de hidrômetros inteligentes.

Assim, faz-se relevante formular a seguinte questão de pesquisa: Quais são as oportunidades e desafios relevantes para projetos de implementação de hidrômetros inteligentes, baseados em Internet das Coisas (IoT) da Indústria 4.0?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GERAL

O objetivo geral desse estudo é identificar quais são as oportunidades e desafios relevantes que emergem de projetos de implementação de hidrômetros inteligentes, baseados em Internet das Coisas (IoT) da Indústria 4.0?

1.2.2 ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, esse estudo pretende:

(a) Identificar na literatura as oportunidades para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes.

(b) Identificar na literatura os desafios para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes.

(c) Identificar em campo as oportunidades e desafios consideradas relevantes para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes em empresa de saneamento básico, segundo entrevistas com especialistas.

(d) Estabelecer as oportunidades e desafios mais relevantes para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes em empresa de saneamento básico.

1.3 JUSTIFICATIVA

A implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) no setor de saneamento básico é importante para o bem-estar da sociedade, especialmente em tempos de crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão eficiente dos recursos hídricos (Schwab, 2020; Mishra et al., 2022). Tecnologias da Indústria 4.0, como a IoT, têm o potencial de transformar significativamente a maneira como monitoramos e gerenciamos a água, um recurso vital e cada vez mais escasso (Kumar et al., 2020; Zhang et al., 2021).

Atualmente, a leitura de hidrômetros, utilizada para medir o consumo de água em residências e empresas, é realizada manualmente uma vez por mês. Este método tradicional apresenta limitações consideráveis, incluindo a detecção tardia de vazamentos, que, em muitos casos, são identificados apenas ao receber a conta do mês seguinte. Essa demora resulta em custos elevados para os consumidores e no desperdício de recursos preciosos. A automação desse processo por meio da IoT permitiria o monitoramento em tempo real do consumo de água, facilitando a detecção imediata de anomalias e vazamentos. Isso não apenas reduziria custos para os consumidores, mas também minimizaria o desperdício de água, promovendo a preservação ambiental (Sung, 2021; Verma & Agrawal, 2021).

Além disso, a gestão inteligente dos recursos hídricos por meio da IoT está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente o ODS 6, que busca garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos. A adoção de tecnologias de monitoramento e gestão em tempo real está entre as estratégias recomendadas para alcançar esse objetivo global, assegurando que as futuras gerações tenham acesso à água potável e saneamento adequado (ONU, 2024).

Estudos recentes indicam que a modernização dos processos de saneamento, incluindo a leitura automatizada de hidrômetros, é uma tendência global. Exemplos de sucesso em cidades inteligentes como Barcelona e Cingapura mostram como soluções baseadas em IoT podem resultar em uma gestão de água mais eficiente e sustentável (Tao et al., 2018; Schwab, 2020). No contexto brasileiro, onde a infraestrutura de saneamento básico ainda enfrenta desafios significativos, a adoção de tais práticas poderia trazer benefícios substanciais, melhorando a eficiência operacional das empresas de saneamento e a qualidade de vida da população (Li et al., 2020).

Portanto, investir na automação do processo de leitura de hidrômetros por meio da IoT não é apenas uma inovação tecnológica, mas uma necessidade para promover o desenvolvimento sustentável, proteger os recursos hídricos e garantir que todos tenham acesso a serviços de saneamento de qualidade. Este estudo se justifica pela contribuição que pode oferecer à sociedade, tanto em termos de sustentabilidade ambiental quanto de bem-estar econômico e social (Wang et al., 2021; Mishra et al., 2022).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução: Apresenta o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa do estudo.

Capítulo 2 - Referencial Teórico: Fornece uma base teórica detalhada sobre Indústria 4.0, IoT e projetos, explorando suas aplicações, benefícios e desafios.

Capítulo 3 - Método e Técnicas de Pesquisa: Descreve a abordagem metodológica utilizada no estudo, incluindo o delineamento da pesquisa, a unidade de análise, e os procedimentos de coleta e análise de dados.

Capítulo 4 - Apresentação e Análise dos Resultados: Discute os achados do estudo, destacando as oportunidades e desafios identificados na implementação de projetos de IoT no setor de saneamento básico.

Capítulo 5 - Contribuições para a Prática: Apresenta as implicações práticas do estudo, oferecendo recomendações para a adoção e integração eficaz da IoT.

Capítulo 6 - Considerações Finais: Resume as principais contribuições do estudo para a academia, discute as limitações da pesquisa e sugere direções para futuras investigações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROJETOS

Kerzner (2017) e Mishra et al. (2022) definem projeto como um esforço temporário realizado para criar produtos, serviços ou resultados únicos, sob restrições específicas de tempo, custo e qualidade. O aumento da complexidade desses projetos, especialmente impulsionada pela transformação digital e pela integração de tecnologias emergentes, torna essencial uma abordagem estruturada para garantir sucesso e entrega de valor aos stakeholders (Sacomano et al., 2018; Mishra et al., 2022). A gestão de projetos desempenha um papel importante no contexto organizacional atual, caracterizado por rápida digitalização e intensa globalização Kerzner (2017) e Mishra et al. (2022).

Com o advento da Indústria 4.0, a gestão de projetos passa a incluir a utilização intensiva de tecnologias digitais, como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (Machine Learning) e blockchain. Essas tecnologias proporcionam maior eficiência operacional, mas também adicionam complexidade aos processos de gerenciamento, exigindo maior flexibilidade e adaptabilidade (Jach, Magiera, & Froelich, 2015).

Um exemplo dessa complexidade é observado em projetos relacionados ao saneamento básico, nos quais a adoção de hidrômetros inteligentes permite monitorar em tempo real o consumo de água, detectar rapidamente vazamentos e otimizar a gestão dos recursos hídricos (Di Mauro et al., 2019). No entanto, essa integração tecnológica demanda abordagens específicas na gestão de projetos, como metodologias ágeis e práticas baseadas em dados para lidar com as incertezas e riscos, especialmente relacionados à segurança cibernética e interoperabilidade entre dispositivos e sistemas legados (Al-Maktoumi et al., 2020).

Além disso, conforme Meredith e Mantel (2011) e Sacomano et al. (2018), o papel do gestor de projetos tem evoluído significativamente com a Indústria 4.0, exigindo não apenas habilidades técnicas tradicionais, mas também competências em tecnologias digitais emergentes e gestão de equipes multidisciplinares e distribuídas. Essa evolução demanda uma compreensão ampla das tecnologias implementadas e sua integração efetiva nas práticas organizacionais (Kumar et al., 2021).

Outro fator relevante destacado na literatura recente refere-se à importância da gestão eficiente de grandes volumes de dados (big data). A adoção de plataformas como Hadoop tem sido recomendada para armazenar e processar dados provenientes dos sistemas inteligentes de medição e monitoramento, possibilitando análises detalhadas que suportam decisões estratégicas e operacionais mais assertivas (Jach, Magiera, & Froelich, 2015).

A sustentabilidade também emerge como uma dimensão crítica no contexto da Indústria 4.0. Projetos inteligentes em saneamento básico, por exemplo, contribuem para práticas mais sustentáveis, incluindo redução significativa de desperdícios e uso mais eficiente de recursos naturais, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU (2024).

Por fim, o sucesso dos projetos na era digital depende fundamentalmente da colaboração entre diversos setores, especialmente público e privado, para fomentar a inovação e adoção de tecnologias digitais. Governos têm um papel central ao prover incentivos e criar regulamentações favoráveis, enquanto as empresas precisam atuar de maneira cooperativa, compartilhando conhecimentos e tecnologias para acelerar essa transformação (Zhang et al., 2021).

2.2 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, refere-se à transformação tecnológica que integra tecnologias digitais avançadas aos processos produtivos e operacionais das empresas. Este novo paradigma industrial caracteriza-se pela convergência entre sistemas físicos, digitais e biológicos, promovendo a automação inteligente, a conectividade entre máquinas e dispositivos, e o uso intensivo de dados para a tomada de decisões (Schwab, 2020).

Entre as principais tecnologias que impulsionam a Indústria 4.0 estão a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (*machine learning*), blockchain, robótica avançada, manufatura aditiva (impressão 3D) e computação em nuvem. Estas tecnologias permitem que empresas otimizem suas operações, aumentem sua eficiência produtiva, reduzam custos operacionais e melhorem a flexibilidade e adaptabilidade diante das mudanças do mercado (Xu et al., 2020).

A interconectividade é um dos principais pilares da Indústria 4.0, facilitando a comunicação em tempo real entre diferentes equipamentos e sistemas produtivos. Isso permite não apenas a otimização contínua dos processos, mas também a personalização de produtos em larga escala, alinhando-se às expectativas dos consumidores e às demandas específicas do mercado (Li et al., 2020).

Contudo, a implementação da Indústria 4.0 traz desafios significativos. A modernização tecnológica e a adaptação de infraestruturas existentes demandam altos investimentos iniciais, enquanto questões como segurança cibernética e privacidade dos dados tornam-se preocupações críticas devido ao aumento da quantidade de dispositivos conectados e dados sensíveis compartilhados nas redes industriais (Alaba et al., 2022).

Outro aspecto relevante da Indústria 4.0 é seu potencial para promover práticas mais sustentáveis e eficientes no uso de recursos naturais. Com tecnologias avançadas como IoT e análise preditiva, empresas podem monitorar e otimizar seu consumo de energia e água, reduzir desperdícios e adotar processos produtivos ambientalmente mais sustentáveis, contribuindo diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU (2024).

Assim, a Indústria 4.0 representa uma oportunidade significativa para organizações que buscam competitividade através da inovação tecnológica e eficiência operacional, embora exija abordagens estratégicas cuidadosas para superar barreiras tecnológicas, financeiras e culturais associadas à sua adoção.

2.3 INTERNET DAS COISAS (IoT)

O termo Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) foi cunhado por Kevin Ashton em 1999 durante sua apresentação na Procter & Gamble, onde propôs o uso da tecnologia RFID (Identificação por Radiofrequência) para rastrear produtos ao longo da cadeia de suprimentos (Ashton, 2009). Desde então, o conceito evoluiu consideravelmente, tornando-se um dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0.

A Internet das Coisas (IoT) refere-se a uma rede crescente de objetos físicos incorporados com sensores, software e tecnologias de conectividade que permitem comunicação e interação através da internet (Atzori, Iera, & Morabito, 2010). Esses objetos inteligentes são capazes de coletar e transmitir dados sem intervenção humana direta,

facilitando processos automatizados e decisões baseadas em dados (Sacomano et al., 2018). Em um contexto mais recente, Sung (2021) amplia a definição de IoT ao descrever como um ecossistema complexo, no qual dispositivos interconectados executam ações automatizadas, geram ideias valiosas, aumentam a eficiência operacional e reduzem significativamente custos operacionais em diferentes setores industriais e comerciais.

A IoT desempenha um papel estratégico especialmente no setor de saneamento básico, onde a gestão sustentável dos recursos hídricos é uma preocupação global crescente (Ul Hasan et al, 2025). Dispositivos IoT, como hidrômetros inteligentes, sensores de pressão, vazão e qualidade da água, proporcionam a possibilidade de monitoramento contínuo e em tempo real. Essa capacidade avançada de gerenciamento permite detectar rapidamente vazamentos, otimizar a distribuição de água e reduzir perdas operacionais, resultando em uma significativa melhora na eficiência dos serviços de água e saneamento (Verma & Agrawal, 2021).

Além disso, a infraestrutura essencial para a implementação bem-sucedida da IoT inclui redes de comunicação robustas, plataformas eficazes para armazenamento e processamento de grandes volumes de dados, e protocolos rigorosos de segurança para proteger a integridade e confidencialidade das informações coletadas e compartilhadas. Apesar dos avanços tecnológicos expressivos, Zhang et al. (2021) apontam que ainda existem barreiras significativas, como a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e o risco crescente de ciberataques, que precisam ser abordados cuidadosamente para garantir a segurança e confiabilidade das soluções IoT.

Outro benefício relevante da IoT é seu impacto potencial sobre a sustentabilidade ambiental. Ao fornecer informações detalhadas sobre padrões de consumo e eficiência operacional, permite que as organizações implementem práticas mais sustentáveis, reduzindo o desperdício de recursos naturais e contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2024). Ademais, a capacidade da IoT de fornecer dados em tempo real também melhora significativamente a resposta a emergências e o gerenciamento proativo de recursos.

Por fim, a adoção crescente da Internet das Coisas (IoT) em diversos setores tem impulsionado a transformação digital das organizações, exigindo não apenas a modernização de suas infraestruturas tecnológicas, mas também mudanças culturais e operacionais que favorecem a inovação contínua (Madakam et al., 2015). Para isso, é importante investir na capacitação da força de trabalho, preparando-a para lidar com tecnologias emergentes e gerenciar efetivamente ambientes altamente digitalizados (Li et al., 2020).

2.4 IMPLEMENTAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)

A implementação de projetos de IoT é um processo multifacetado que requer planejamento estratégico detalhado e integração com sistemas existentes (Mishra et al., 2022). O sucesso na implementação de IoT começa com a identificação clara das necessidades organizacionais e uma avaliação das tecnologias disponíveis para atender a essas demandas (Mishra et al., 2022). Este processo inclui a seleção de sensores, dispositivos de comunicação e plataformas de análise de dados que estejam alinhados com os objetivos do projeto e as capacidades da organização (Mishra et al., 2022).

Uma etapa relevante no processo de implementação é a criação de uma infraestrutura de rede robusta e segura (Zhang et al., 2021). A IoT depende de redes de comunicação confiáveis que permitam a troca contínua e precisa de dados entre dispositivos conectados (Zhang et al., 2021). A escolha de protocolos de comunicação e a configuração adequada de redes sem fio são essenciais para garantir desempenho e confiabilidade, especialmente em ambientes industriais onde a integridade dos dados é crítica (Zhang et al., 2021).

Nesse contexto, destaca-se o papel das Redes de Sensores Sem Fio (*Wireless Sensor Networks* - WSN) como elemento estruturante da IoT no setor de saneamento básico (Li et al., 2023). As WSNs consistem em dispositivos interconectados, com capacidade de sensoriamento remoto e transmissão contínua de dados ambientais e operacionais (Zhang et al., 2022). Essas redes oferecem suporte eficiente à coleta de dados em locais de difícil acesso, sendo relevantes para o monitoramento de redes de água e o controle de perdas em tempo real (Li et al., 2022; Kumar et al., 2020).

A integração das WSN com a IoT e plataformas de análise em nuvem tem possibilitado soluções mais econômicas e escaláveis para municípios e empresas de saneamento. A incorporação desses sensores em infraestruturas já existentes contribui para a digitalização dos serviços e maior precisão na gestão de recursos hídricos (Zhang et al., 2021). Ainda assim, a interoperabilidade entre dispositivos heterogêneos e a segurança da informação são desafios relevantes que exigem a adoção de protocolos criptográficos e mecanismos de autenticação robustos (Alaba et al., 2022).

Além das questões técnicas, a implementação de IoT exige mudanças culturais dentro das organizações. O sucesso da IoT depende da capacidade de promover uma mentalidade digital que incentive a inovação, a experimentação e a adoção de novas tecnologias. Isso pode incluir a requalificação de equipes para operar e gerenciar dispositivos IoT e a introdução de

práticas de gestão ágeis que facilitem a integração das novas tecnologias nos processos existentes (Kumar et al., 2021).

O processo de implementação também deve considerar os custos associados, que vão além da aquisição de equipamentos. Os investimentos de infraestrutura, treinamento de equipes e manutenção contínua são componentes significativos que afetam a viabilidade econômica de projetos de IoT (Verma & Agrawal, 2021). Estudos mostram que um planejamento financeiro sólido e uma análise de custo-benefício detalhada são essenciais para evitar falhas no processo de adoção (Verma & Agrawal, 2021).

Adicionalmente, a interoperabilidade entre dispositivos IoT e sistemas legados é um dos principais desafios técnicos. A falta de padrões universais muitas vezes resulta em problemas de compatibilidade, exigindo soluções personalizadas para integrar tecnologias existentes com novos dispositivos IoT (Xu et al., 2020). Essa etapa requer uma análise cuidadosa dos sistemas em uso e o desenvolvimento de interfaces que permitam a troca de informações sem interrupções.

Outro aspecto crítico é a escalabilidade dos projetos de IoT; organizações devem projetar suas implementações de IoT considerando o crescimento futuro, garantindo que a infraestrutura seja capaz de suportar um aumento no número de dispositivos conectados e na quantidade de dados processados. A escalabilidade é especialmente relevante em setores como o saneamento, onde o monitoramento de recursos naturais frequentemente envolve grandes volumes de dados (Sung, 2021).

A integração bem-sucedida da IoT requer monitoramento contínuo e melhorias iterativas. Ferramentas de análise avançada, como big data e aprendizado de máquina, podem ser utilizadas para identificar padrões nos dados coletados e otimizar processos operacionais (Wang et al., 2021). Esse ciclo contínuo de avaliação e melhoria garante que os projetos de IoT permaneçam alinhados com os objetivos organizacionais e respondam às mudanças no ambiente externo. A tabela 1 apresenta os principais desafios e oportunidades da implementação de IOT no saneamento básico.

TABELA 1: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DE IoT NO SANEAMENTO BÁSICO

Categoria	Descrição	Referências
Infraestrutura Robusta	Modernização e integração com sistemas legados existentes.	Zhang et al. (2021); Alaba et al. (2022); Xu et al. (2020)
Custo Inicial Elevado	Investimentos elevados iniciais em tecnologias IoT e automação.	Mishra et al. (2022); Verma & Agrawal (2021); Adams & Jokonya (2022)
Segurança Cibernética e Privacidade	Riscos crescentes em sistemas conectados.	Alaba et al. (2022); Lee et al. (2015); Rizk (2023)
Capacitação e Cultura Organizacional	Necessidade de treinamento técnico e cultura de inovação.	McKinsey (2021); Verma & Agrawal (2021); Kumar et al. (2021)
Eficiência Operacional	Otimização de recursos e melhor previsão de demandas futuras.	Li et al. (2020); Zhang et al. (2021); Wang et al. (2021); Jagen et al. (2023)
Casos de Sucesso	Exemplos de sucesso em cidades inteligentes.	Verma & Agrawal (2021); Lee et al. (2015); Tao et al. (2018); Schwab (2020)

2.5 GESTÃO DE PROJETOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE IoT EM SANEAMENTO BÁSICO

A implementação de soluções de Internet das Coisas (IoT) no saneamento básico demanda, além dos elementos técnicos, uma arquitetura robusta de gestão de projetos, capaz de endereçar riscos, mudança organizacional, aquisição de tecnologias, planejamento integrado, engajamento de stakeholders e governança unificada. Em projetos intensivos em dados e conectividade, como os de hidrômetros inteligentes, o uso disciplinado de boas práticas consagradas (PMBOK, PRINCE2, ISO 31000) aumenta a previsibilidade de resultados e reduz o risco de fracasso de implantação (Kerzner, 2017; PMI, 2021). No setor de saneamento, esse enquadramento gerencial é decisivo para transformar evidências técnicas em valor operacional e público (Xu et al., 2020; Mishra et al., 2022).

2.5.1 Gestão de Risco em Projetos de IoT

Projetos de IoT ampliam a superfície de risco por combinarem hardware em campo, conectividade (NB-IoT/LoRa/GPRS), plataformas de dados e integração com sistemas legados, expondo vulnerabilidades técnicas, financeiras e organizacionais (Alaba et al., 2022; Zhang et al., 2021). A gestão de risco deve seguir um ciclo contínuo de identificação, análise, planejamento de respostas e monitoramento, com registros formais de risco (risk log) e indicadores de gatilho para eventos críticos (PMI, 2021; ISO, 2018). Entre os riscos típicos estão: (i) cibersegurança e privacidade (LGPD); (ii) interoperabilidade entre dispositivos e plataformas; (iii) CAPEX inicial elevado e incertezas de ROI; (iv) cobertura de rede limitada; e (v) resistência cultural à mudança (McKinsey, 2021; Verma & Agrawal, 2021). As respostas recomendadas incluem segurança by design (segmentação de rede, criptografia início a fim, gestão de credenciais), pilotos controlados com critérios de aceitação, contratos com SLAs e penalidades e planos de contingência para falhas de telemetria (Lee, Bagheri & Kao, 2015; Rizk, 2023). A priorização objetiva via matriz de probabilidade $\times$ impacto e revisões periódicas com TI/OT e operação sustentam a aderência ao risco-alvo do programa (PMI, 2021; Kerzner, 2017).

2.5.2 Gestão de Mudanças (Change Management)

A efetividade de IoT depende menos de artefatos técnicos e mais da adoção de novos processos e rotinas analíticas pelas equipes. A gestão de mudanças deve tratar comunicação, capacitação e patrocínio executivo como frentes estruturadas, com ênfase em benefícios tangíveis (redução de perdas, eficiência de campo, confiabilidade do dado) e em novos papéis (analista de telemetria, operador de alarmes, responsável por governança de dados) (Kotter, 2012; PMI, 2021). Boas práticas incluem mapa de impactos por perfil, treinamentos práticos orientados a casos de uso, rituais de monitoramento (reuniões semanais com dashboards), e métricas de adoção (uso de painéis, tratamento de alertas dentro do SLA, taxa de leitura válida) (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021). Em saneamento, envolver equipes de campo desde o início reduz resistências e acelera a institucionalização de fluxos como tratamento sistemático de alarmes de vazamento e priorização de ordens de serviço baseada em evidências (Mishra et al., 2022; Li et al., 2020).

2.5.3 Gestão de Aquisições (Procurement)

A gestão de aquisições em IoT requer especificações técnicas claras (desempenho de medição, robustez de rádio, autonomia de bateria, segurança), critérios de interoperabilidade (APIs abertas, protocolos padrão), e medidas de qualidade de dados (completude, consistência, tempestividade) (PMI, 2021; Kerzner, 2017). Contratos devem contemplar KPIs verificáveis (taxa de leitura válida, disponibilidade, MTTR), SLAs de conectividade/plataforma e cláusulas de evolução tecnológica (firmware, compatibilidade futura), além de ambientes de teste permanentes e homologação de integrações (Lee et al., 2015; Adams & Jokonya, 2022). Em contextos com CAPEX relevante, considerar modelos financeiros escalonados (leasing, parceria público–privada, remuneração por desempenho) mitiga riscos de investimento e viabiliza a escalabilidade (McKinsey, 2021; Verma & Agrawal, 2021).

2.5.4 Gestão de Planejamento (Cronograma, Custos e Escopo)

O planejamento deve integrar escopo técnico (dispositivos, redes, integração), cronograma faseado (pilotos, expansão por distritos de medição e controle), e orçamento TCO (hardware, conectividade, plataforma, integração, segurança, operação/manutenção) (PMI, 2021; Kerzner, 2017). Em IoT, recomenda-se planejamento iterativo e incremental, com marcos de “prova de valor” e linhas de base antes–depois para mensurar ganhos (redução de perdas reais/aparentes, OPEX de leitura, confiabilidade do dado) (Tao et al., 2018; Zhang et al., 2021). A gestão de cronograma deve considerar dependências externas (cobertura de rede, fornecimento de hardware) e janelas operacionais (instalação em campo), enquanto a gestão de custos incorpora análise de sensibilidade e reserva de contingência para riscos prioritários (PMI, 2021; Kerzner, 2017).

2.5.5 Gestão de Stakeholders

Projetos de IoT em saneamento envolvem múltiplos stakeholders: operação e manutenção, TI/OT, comercial/faturamento, regulação, fornecedores de

dispositivos/conectividade/plataforma, e usuários finais (PMI, 2021; Stake, 1995). O mapeamento de poder $\times$ interesse orienta estratégias de engajamento, combinando comunicação técnica (painéis e indicadores), demonstrações de valor (casos de uso com ganhos já capturados), e governança de dados conforme LGPD (acesso, anonimização, trilhas de auditoria) (Rizk, 2023; Alaba et al., 2022). Em termos públicos, destacar benefícios sociais (redução de desperdício de água, resposta rápida a vazamentos, transparência de consumo) reforça legitimidade e sustenta decisões de expansão (ONU, 2024; Verma & Agrawal, 2021).

2.5.6 Gestão Integrada (Governança e Integração TI–OT)

A gestão integrada coordena escopo, cronograma, custos, qualidade, recursos, comunicação, riscos, aquisições e stakeholders, consolidando decisões em um modelo de governança com papéis claros e pontos de controle (PMI, 2021; Kerzner, 2017). No saneamento, a integração TI–OT é crítica: arquiteturas em camadas (ingestão, tratamento, exposição), APIs e padrões abertos, catálogo de dados e políticas de segurança por design sustentam interoperabilidade e evolução tecnológica (Lee et al., 2015; Xu et al., 2020). A governança deve prever fórum periódico multidisciplinar (operação, TI/OT, comercial, segurança da informação) para tratar indicadores, alertas, incidentes, mudanças e priorização de investimentos, garantindo que evidências operacionais se traduzam em decisões gerenciais consistentes (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021).

2.6 IOT NO SANEAMENTO BÁSICO

No setor de saneamento, a IoT tem se mostrado uma solução eficaz para o monitoramento de sistemas de distribuição de água, detecção de vazamentos e medição de consumo em tempo real (Mishra et al., 2022). A automação promovida por dispositivos IoT, como hidrômetros inteligentes, permite identificar problemas rapidamente, reduzindo desperdícios e otimizando a alocação de recursos hídricos. A capacidade de prever falhas através de manutenção preditiva também contribui para maior confiabilidade e redução de custos operacionais (Verma & Agrawal, 2021).

No contexto da Indústria 4.0, a IoT também desempenha um papel relevante na criação de sistemas de produção inteligentes, onde máquinas e dispositivos podem interagir de maneira autônoma e eficiente (Xu et al., 2020). No entanto, a aplicação no saneamento básico requer não apenas tecnologia, mas também mudanças organizacionais, capacitação de equipes e adaptações regulatórias para garantir a eficiência e a sustentabilidade (Li et al., 2020).

As vantagens da IoT incluem a possibilidade de integrar dados de sensores distribuídos geograficamente em um único sistema de gestão, promovendo decisões baseadas em informações em tempo real (Kumar et al., 2021). Essa abordagem é particularmente importante em áreas urbanas densamente povoadas, onde o consumo de água e as necessidades de manutenção são mais complexos. Cidades como Cingapura já demonstraram o impacto positivo da IoT na gestão de recursos hídricos, com melhorias substanciais na eficiência operacional e na detecção de vazamentos (Schwab, 2020).

Apesar dessas oportunidades, a implementação da IoT no saneamento básico apresenta desafios técnicos e financeiros. O alto custo inicial para instalação de dispositivos e a necessidade de manutenção contínua podem ser barreiras para organizações com recursos limitados (Sung, 2021). Além disso, a segurança cibernética é uma preocupação crítica, já que a crescente conectividade aumenta a exposição a ataques digitais e à violação de dados (Alaba et al., 2022).

A adoção da IoT em projetos de saneamento básico exige uma abordagem estratégica, com investimentos em tecnologia e treinamento de equipes. Além disso, políticas públicas e incentivos governamentais podem desempenhar um papel vital na promoção da integração dessas tecnologias em sistemas urbanos e rurais (Mishra et al., 2022). Por fim, o sucesso da IoT depende de um planejamento cuidadoso e de uma colaboração eficaz entre stakeholders, incluindo governos, empresas e fornecedores de tecnologia (Zhang et al., 2021).

A IoT é um sistema poderoso de tecnologias (Sacomano et al., 2018), podendo transformar o setor de saneamento básico, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e modernização promovidos pela Indústria 4.0. Sua implementação, no entanto, requer não apenas a superação de barreiras tecnológicas e financeiras, mas também um compromisso contínuo com a inovação e a adaptação às demandas emergentes (Lee, Bagheri, & Kao, 2015). A tabela 2 apresenta as principais aplicações da IoT no saneamento básico.

Tabela 2: Aplicações da IoT no Saneamento Básico

Categoria	Descrição	Referências
Monitoramento de Qualidade da Água	Sensores IoT monitoram parâmetros como pH, turbidez e contaminantes em tempo real.	Aksu & Ozdemir (2021); Li et al. (2020)
Detecção de Vazamentos	Dispositivos IoT identificam vazamentos na rede de distribuição, reduzindo perdas de água.	Misra et al. (2022); Lee et al. (2015)
Otimização de Consumo	Medidores inteligentes fornecem dados sobre o consumo, incentivando o uso consciente de água.	Zhang et al. (2021); Kumar et al. (2021)
Manutenção Preditiva	Dados de sensores permitem prever falhas em equipamentos, otimizando a manutenção.	Jagen et al. (2023); Adams & Jokonya (2022)
Gestão de Recursos Hídricos	A IoT permite a análise em larga escala de sistemas de captação, armazenamento e distribuição.	Schwab (2020); Verma & Agrawal (2021)
Tomada de Decisão Baseada em Dados	Integração de dados de sensores para apoio em decisões estratégicas de saneamento.	Tao et al. (2018); Rizk (2023)

2.7 HIDRÔMETROS INTELIGENTES

Os hidrômetros inteligentes representam uma inovação tecnológica essencial para a modernização do setor de saneamento básico, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas (IoT), que promovem conectividade, automação e tomada de decisão baseada em dados (Mishra et al., 2022; Schwab, 2020). Essa tecnologia surge como resposta à necessidade crescente de eficiência operacional, redução de perdas e sustentabilidade, especialmente em países como o Brasil, onde as perdas de água na distribuição ainda superam 30% em muitas regiões (Verma & Agrawal, 2021).

Diferentemente dos hidrômetros convencionais, que dependem de leituras manuais mensais, os dispositivos inteligentes permitem monitoramento remoto e contínuo, integrando dados em tempo real a sistemas centrais ou plataformas em nuvem. Essa capacidade viabiliza detecção imediata de vazamentos, fraudes e consumos atípicos, reduzindo desperdícios e custos operacionais (Di Mauro et al., 2019). Além disso, a automação das leituras elimina erros

humanos e aumenta a confiabilidade das informações, fator crítico para auditorias e planejamento estratégico.

Do ponto de vista tecnológico, os hidrômetros inteligentes incorporam sensores eletrônicos, módulos de comunicação sem fio e protocolos de segurança avançados, utilizando padrões como LoRa (Long Range), Zigbee, NB-IoT (Narrowband Internet of Things) e, mais recentemente, soluções baseadas em Blockchain para garantir integridade e rastreabilidade dos dados (Rizk, 2023; Adams & Jokonya, 2022). Cada tecnologia apresenta vantagens específicas: LoRa destaca-se pelo baixo consumo energético e alcance ampliado, ideal para áreas rurais; Zigbee é mais eficiente em redes densas urbanas; NB-IoT oferece alta confiabilidade para aplicações críticas.

A adoção desses dispositivos também está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6, que visa assegurar acesso universal à água potável e saneamento seguro. Ao permitir gestão proativa e manutenção preditiva, os hidrômetros inteligentes contribuem para reduzir perdas reais e aparentes, melhorar a alocação de recursos e apoiar políticas públicas voltadas à sustentabilidade (ONU, 2024).

Contudo, a implementação enfrenta desafios significativos: altos custos iniciais (CAPEX), integração com sistemas legados, infraestrutura de conectividade, segurança cibernética e resistência cultural à mudança (Zhang et al., 2021; McKinsey, 2021). Superar essas barreiras exige planejamento estratégico, governança de dados e capacitação técnica, além de incentivos regulatórios e modelos de financiamento que viabilizem a escala.

Em síntese, os hidrômetros inteligentes não são apenas dispositivos tecnológicos, mas elementos estruturantes da transformação digital no saneamento, capazes de gerar valor econômico, ambiental e social quando integrados a uma arquitetura robusta de IoT e gestão orientada por dados.

2.8 OPORTUNIDADES EM PROJETOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE HIDRÔMETROS INTELIGENTES

As tecnologias associadas aos hidrômetros inteligentes possibilitam análises avançadas dos dados coletados, permitindo previsões precisas de consumo e diagnóstico precoce de problemas na rede, otimizando significativamente as operações e reduzindo custos operacionais para empresas e consumidores finais (Jagen et al., 2023).

A adoção de hidrômetros inteligentes também contribui diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6, que busca garantir a gestão sustentável da água e saneamento para todos (ONU, 2024). Portanto, investir em hidrômetros inteligentes representa não apenas uma estratégia tecnológica, mas também uma ação fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica do setor.

A implementação de projetos de hidrômetros inteligentes apresenta diversas oportunidades, especialmente relacionadas à gestão eficiente dos recursos hídricos e à redução de desperdícios. Entre as principais oportunidades destacam-se:

Monitoramento em tempo real: A capacidade de monitorar em tempo real o consumo de água permite identificar rapidamente vazamentos e anomalias, possibilitando uma resposta imediata e reduzindo desperdícios significativos (Jagen et al., 2023).

Melhoria da precisão no faturamento: Hidrômetros inteligentes permitem leituras automáticas e precisas, eliminando erros comuns em leituras manuais e proporcionando maior transparência e satisfação dos consumidores (Di Mauro et al., 2019).

Sustentabilidade ambiental: A utilização dessa tecnologia está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribuindo diretamente para a redução do desperdício de água e promovendo práticas sustentáveis e responsáveis (ONU, 2024).

Eficiência operacional: A automação da coleta e análise de dados permite uma gestão mais proativa e eficiente, reduzindo custos operacionais e permitindo investimentos em melhorias adicionais na infraestrutura hídrica (Rizk, 2023).

Identificação precoce de falhas: Com sensores avançados e comunicação em tempo real, é possível identificar e mitigar rapidamente problemas técnicos antes que se tornem graves, minimizando interrupções no fornecimento e reduzindo custos associados a reparos emergenciais (Adams & Jokonya, 2022).

2.9 DESAFIOS EM PROJETOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE HIDRÔMETROS INTELIGENTES

Contudo, a implementação desses sistemas enfrenta desafios, como os altos custos iniciais, a necessidade de adaptação e integração com infraestruturas existentes e preocupações com a segurança e privacidade dos dados coletados (Zhang et al., 2021). Além disso a adoção de hidrômetros inteligentes também enfrenta outros desafios.

Altos custos iniciais: Os custos iniciais de aquisição, instalação e manutenção dos hidrômetros inteligentes podem ser bastante elevados, representando uma barreira significativa, especialmente para empresas menores ou com recursos limitados (Verma & Agrawal, 2021).

Integração com sistemas legados: Muitas empresas ainda utilizam sistemas legados antigos que podem não ser compatíveis com novas tecnologias. Essa integração frequentemente requer investimentos adicionais em infraestrutura tecnológica e treinamento especializado para equipes (Adams & Jokonya, 2022).

Segurança cibernética: O aumento do número de dispositivos conectados traz riscos adicionais relacionados à segurança dos dados, exigindo soluções robustas para garantir a integridade e confidencialidade das informações coletadas e transmitidas pelos hidrômetros inteligentes (Zhang et al., 2021).

Aceitação cultural e organizacional: A resistência cultural e organizacional à mudança é um desafio frequentemente enfrentado durante a implementação desses dispositivos. Capacitação adequada e estratégias eficazes de comunicação são essenciais para superar resistência e garantir uma transição suave para a tecnologia digital (Sung, 2021).

Interoperabilidade: A falta de padronização entre dispositivos de diferentes fabricantes dificulta a integração eficiente e pode limitar o alcance e a eficácia dos sistemas implementados (Zhang et al., 2021).

Essas oportunidades e desafios devem ser cuidadosamente considerados para garantir a implementação bem-sucedida e sustentável dos hidrômetros inteligentes no setor de saneamento básico.

A tabela 3 abaixo consolida as tabelas 1 e 2, apresentando o modelo teórico deste estudo.

Tabela 3. Modelo teórico

Categoria	Descrição	Benefício / Desafio	Referências
Infraestrutura Robusta	Modernização e integração com sistemas legados existentes.	Desafio	Zhang et al. (2021); Alaba et al. (2022); Xu et al. (2020)
Custo Inicial Elevado	Investimentos elevados iniciais em tecnologias IoT e automação.	Desafio	Mishra et al. (2022); Verma & Agrawal (2021); Adams & Jokonya (2022)
Segurança Cibernética e Privacidade	Riscos crescentes em sistemas conectados e necessidade de proteção de dados.	Desafio	Alaba et al. (2022); Lee et al. (2015); Rizk (2023)

Categoria	Descrição	Benefício / Desafio	Referências
Capacitação e Cultura Organizacional	Necessidade de treinamento técnico e promoção da cultura de inovação.	Desafio	McKinsey (2021); Verma & Agrawal (2021); Kumar et al. (2021)
Eficiência Operacional	Otimização de recursos, manutenção preditiva e previsão de demandas futuras.	Benefício	Li et al. (2020); Zhang et al. (2021); Wang et al. (2021); Jagen et al. (2023)
Casos de Sucesso	Exemplos de sucesso em cidades inteligentes e adoção de IoT em gestão hídrica.	Benefício	Verma & Agrawal (2021); Lee et al. (2015); Tao et al. (2018); Schwab (2020)
Monitoramento de Qualidade da Água	Sensores IoT monitoram parâmetros como pH, turbidez e contaminantes em tempo real.	Benefício	Aksu & Ozdemir (2021); Li et al. (2020)
Deteção de Vazamentos	Dispositivos IoT identificam vazamentos na rede de distribuição, reduzindo perdas de água.	Benefício	Misra et al. (2022); Lee et al. (2015)
Otimização de Consumo	Medidores inteligentes fornecem dados sobre o consumo, incentivando o uso consciente de água.	Benefício	Zhang et al. (2021); Kumar et al. (2021)
Manutenção Preditiva	Dados de sensores permitem prever falhas em equipamentos, otimizando a manutenção.	Benefício	Jagen et al. (2023); Adams & Jokonya (2022)
Gestão de Recursos Hídricos	A IoT permite a análise em larga escala de sistemas de captação, armazenamento e distribuição.	Benefício	Schwab (2020); Verma & Agrawal (2021)
Tomada de Decisão Baseada em Dados	Integração de dados de sensores para apoio em decisões estratégicas de saneamento.	Benefício	Tao et al. (2018)

3 MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA

Este capítulo apresenta detalhadamente os métodos e técnicas utilizados para investigar as oportunidades e desafios da implementação da Internet das Coisas (IoT) no setor de saneamento básico. O objetivo é fornecer um referencial metodológico claro e robusto, garantindo a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos. São descritos o delineamento da pesquisa, a unidade de análise, os procedimentos de coleta e análise dos dados, além dos métodos específicos aplicados.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Este estudo adota um delineamento metodológico de abordagem mista, integrando técnicas quantitativas e qualitativas para oferecer uma análise ampla, detalhada e multifacetada do fenômeno investigado. A combinação dessas abordagens permite a obtenção de dados numéricos objetivos e, simultaneamente, a exploração profunda das percepções, experiências e contextos dos participantes, promovendo assim um entendimento mais completo e robusto (Creswell, 2010; Creswell & Plano Clark, 2017; Gil, 1989).

Foi realizado um estudo de campo que combinou entrevistas estruturadas, aplicadas por meio de um formulário baseado em Escala de Expressão Linguística, com o objetivo de mensurar atitudes e percepções, conforme descrito no Apêndice B. Além disso, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas para aprofundar as análises qualitativas, conforme apresentado no Apêndice A. Tanto as questões do formulário quanto as entrevistas foram elaboradas a partir da revisão sistemática da literatura, que serviu como base teórica para a pesquisa. Para assegurar maior consistência e confiabilidade, empregou-se a triangulação de dados, permitindo uma análise ampla e robusta dos resultados.

O método de análise multicritérios foi selecionado como ferramenta analítica para a avaliação e priorização das oportunidades e desafios relacionados à implementação da Internet das Coisas (IoT). Essa abordagem oferece uma estrutura sistemática para lidar com múltiplos fatores, considerando diferentes dimensões qualitativas e quantitativas, essenciais para a tomada de decisão em ambientes complexos (Lieggio Junior, Granemann & Souza, 2012; Brodny & Tutak, 2023).

A pesquisa de campo foi realizada por meio da aplicação de entrevistas estruturadas e semiestruturadas com profissionais da empresa participante, combinadas com a utilização da escala decimal para mensuração quantitativa das percepções. Isso proporciona maior facilidade de análises estatísticas e a comparação entre as opiniões dos respondentes (Júnior & Costa, 2014; Coelho, Souza & Albuquerque, 2020).

Complementando a coleta de dados primários, uma revisão sistemática da literatura foi conduzida para embasar teoricamente o estudo, garantindo a fundamentação conceitual e a identificação das principais oportunidades e barreiras associadas à adoção da IoT no setor de manufatura (Pollock & Berge, 2018; Tranfield, Denyer & Smart, 2003). Essa revisão serviu para orientar a elaboração dos instrumentos de pesquisa, fortalecendo a validade dos achados.

Dessa forma, o delineamento misto empregado neste estudo possibilita uma análise integrada e mais abrangente, aumentando a confiabilidade e a validade dos resultados, ao mesmo tempo em que amplia a compreensão dos aspectos técnicos, gerenciais e humanos envolvidos na implementação da IoT (Creswell, 2014; Yin, 2018).

3.1.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura (RSL) é um método rigoroso e estruturado que visa identificar, avaliar e sintetizar estudos científicos relevantes para responder a uma questão de pesquisa específica (Pollock & Berge, 2018). Este processo contribui para a compreensão aprofundada do estado da arte sobre o tema investigado, possibilitando uma análise crítica e integrada dos achados que fundamentam teoricamente o estudo.

Neste trabalho, a RSL foi conduzida seguindo o protocolo estabelecido por Pollock e Berge (2018), que envolve seis etapas principais: (1) definição clara dos objetivos da revisão; (2) busca criteriosa em bases de dados relevantes; (3) coleta e seleção dos estudos pertinentes; (4) avaliação rigorosa da qualidade metodológica dos trabalhos selecionados; (5) síntese e integração dos achados; e (6) interpretação dos resultados para elaboração das conclusões. O uso deste protocolo assegura transparência, reprodutibilidade e minimiza o viés na seleção dos documentos.

Foram utilizadas as bases de dados Scopus, Web of Science e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), selecionadas por sua abrangência e reconhecimento acadêmico (Tranfield, Denyer & Smart, 2003). Aplicaram-se filtros, tais como limitação por

ano de publicação, tipo de documento, área temática e idioma, garantindo a atualidade e relevância dos estudos incluídos (Kitchenham & Charters, 2007). A seleção final incluiu artigos científicos, dissertações e teses, permitindo uma visão abrangente e multidisciplinar da temática.

Além disso, foram adotados critérios de exclusão para eliminar estudos duplicados, documentos não disponíveis na íntegra ou que não atendiam aos objetivos da pesquisa. A avaliação da qualidade metodológica dos trabalhos selecionados considerou aspectos como clareza dos objetivos, adequação dos métodos, validade dos resultados e relevância para o contexto do estudo (Petticrew & Roberts, 2006).

Essa revisão proporcionou um embasamento teórico sólido, evidenciando lacunas e consensos existentes na literatura, e subsidiando a elaboração dos instrumentos de coleta de dados e a interpretação dos resultados deste estudo (Higgins & Green, 2011).

3.1.2 PESQUISA MISTA

A pesquisa mista, também conhecida como abordagem quali-quantitativa, integra de maneira sistemática os métodos qualitativos e quantitativos em todas as fases do processo investigativo, desde a coleta até a análise dos dados (Creswell & Plano Clark, 2015). Essa metodologia busca aproveitar as vantagens e compensar as limitações inerentes a cada abordagem isolada, permitindo uma compreensão mais ampla, rica e aprofundada do fenômeno em estudo (Souza & Dieng, 2018).

Ao combinar dados numéricos, obtidos por meio de instrumentos estruturados como questionários e escalas, com dados qualitativos derivados de entrevistas, observações e análises contextuais, a pesquisa mista possibilita capturar tanto a dimensão estatística quanto as interpretações subjetivas e contextuais dos participantes (Leite, Verde, Oliveira & Nunes, 2021). Essa complementaridade potencializa a validade dos resultados, uma vez que as informações são trianguladas, minimizando vieses e fortalecendo a robustez das conclusões (Tashakkori & Teddlie, 2010).

Além disso, a pesquisa mista permite abordar questões complexas que não podem ser completamente compreendidas por uma única metodologia. Por exemplo, dados quantitativos podem indicar padrões gerais, enquanto os qualitativos explicam o porquê desses padrões, proporcionando percepções sobre motivações, sentimentos e contextos sociais que influenciam

os fenômenos estudados (Creswell, 2014; Plano Clark, Huddleston-Casas, Churchill, Green & Garrett, 2008).

No contexto de estudos aplicados à tecnologia e inovação, como a implementação de Internet das Coisas (IoT), a pesquisa mista é particularmente valiosa, pois possibilita mensurar impactos, objetivos e, simultaneamente, explorar percepções e barreiras subjetivas enfrentadas pelos usuários e gestores (Johnson, Onwuegbuzie & Turner, 2007). Essa abordagem tem se tornado padrão em pesquisas contemporâneas que buscam rigor metodológico e aplicabilidade prática, ampliando a abrangência e a profundidade das análises (Creswell & Creswell, 2018).

Em síntese, a pesquisa mista promove uma investigação integrada e dinâmica, alinhada com a complexidade dos fenômenos atuais, fortalecendo a interpretação crítica dos dados e a geração de conhecimento aplicável a contextos reais (Bazeley, 2018).

3.1.3 ESTUDO DE CAMPO

O estudo de campo constitui uma metodologia relevante para a investigação científica aplicada, pois permite a coleta de dados primários diretamente no ambiente natural onde os fenômenos ocorrem, garantindo maior contextualização e validade dos resultados (Marconi & Lakatos, 1990). Neste trabalho, o estudo de campo foi realizado em empresa de grande porte, na área de Saneamento básico, que estava em fase de implantação de soluções de Internet das Coisas (IoT).

A escolha dessa organização deve-se à relevância de seus processos produtivos para o escopo da pesquisa e ao fato de estar vivenciando um momento crítico de transformação digital, proporcionando um cenário propício para observar oportunidades e desafios reais da implementação de IoT (De Lunetta & Guerra, 2023).

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas com profissionais de diferentes níveis hierárquicos, incluindo, supervisores, diretores, sócios e especialistas em tecnologia da informação. Essa diversidade de perfis possibilitou a obtenção de múltiplas perspectivas sobre o tema, enriquecendo a análise e ampliando a compreensão sobre as dinâmicas internas e os impactos da tecnologia na organização (Yin, 2018; Silva, 2014).

Além das entrevistas, o estudo complementou com a observação direta e análise documental quando possível, garantindo a triangulação dos achados (Marconi & Lakatos, 2003).

3.1.4 FORMULÁRIOS

Os formulários estruturados constituem uma ferramenta importante para a coleta sistemática e padronizada de dados quantitativos em pesquisas científicas (De Melo & Dos Santos Bianchi, 2015). Neste estudo, optou-se pela aplicação de formulários com perguntas fechadas utilizando a escala de expressão verbal, traduzida em números Fuzzy triangulares (Manzato & Santos, 2012).

A utilização da escala de expressão verbal permite uma maior avaliação das respostas quando comparada a escalas mais tradicionais, como a escala Likert de cinco ou sete pontos, o que favorece análises estatísticas mais robustas e precisas, especialmente em contextos que demandam discriminação fina entre diferentes níveis de concordância (Coelho, Souza & Albuquerque, 2020). Além disso, a padronização dos formulários garante a comparabilidade dos dados, facilitando o tratamento estatístico e a geração de insights quantitativos consistentes.

Para assegurar a validade e confiabilidade dos formulários, foram realizadas etapas metodológicas rigorosas, incluindo a definição clara dos objetivos da pesquisa, elaboração criteriosa das perguntas com linguagem objetiva e não tendenciosa, e a realização de pré-testes para ajuste e refinamento dos instrumentos (Maia, 2020; Manzato & Santos, 2012). O respeito à confidencialidade e anonimato dos participantes também foi prioritário, promovendo a honestidade e a integridade das respostas (Coelho et al., 2020).

No contexto deste trabalho, os formulários aplicados foram direcionados a profissionais envolvidos com a implementação da Internet das Coisas (IoT), permitindo coletar dados quantitativos sobre as oportunidades e desafios percebidos na adoção dessa tecnologia. A análise dos dados obtidos por meio desses formulários contribuiu significativamente para a triangulação dos resultados, complementando as informações qualitativas obtidas nas entrevistas e enriquecendo a interpretação dos achados (De Melo & Dos Santos Bianchi, 2015).

3.1.5 ESCALA DE EXPRESSÃO LINGUÍSTICA

A escala expressão linguística utilizada foi representada por números Fuzzy triangulares, permitindo que os respondentes expressassem diferentes níveis de concordância ou discordância em relação a uma afirmativa ou questão proposta, o que oferece uma maior

sensibilidade em comparação com escalas mais restritas (Manzato & Santos, 2012; Maia, 2020).

No contexto de pesquisas em tecnologia e inovação, especialmente em estudos que envolvem avaliação de fatores qualitativos e quantitativos, a escala de expressão linguística possibilita a coleta de dados detalhados que refletem nuances importantes das percepções dos participantes (Coelho et al., 2020). Essa metodologia permite não apenas a captura de opiniões, mas também facilita a aplicação de análises estatísticas, como cálculo de médias, desvios padrão, correlações e coeficientes de variação, ampliando a robustez e a confiabilidade dos resultados (Júnior & Costa, 2014; Silva et al., 2018).

Nesta pesquisa, a escala de expressão linguística foi adotada para mensurar o grau de relevância percebida pelos participantes em relação às oportunidades e desafios da implementação da Internet das Coisas (IoT), conforme tabela 4.

Tabela 4 - Escala de Expressão Linguística em Números Fuzzy Trinagulares

Expressão Linguística	Números Fuzzy Triangulares
Discordo Totalmente (DT)	1, 1, 3
Discordo (D)	1, 3, 5
Nem Concordo nem Discordo (R)	3, 5, 7
Concordo (C)	5, 7, 9
Concordo Totalmente (CT)	7, 9, 9

Tal abordagem contribuiu para a identificação de padrões, tendências e prioridades, possibilitando a integração eficiente dos dados quantitativos na análise multicritérios empregada posteriormente (Manzato & Santos, 2012; Silva et al., 2018).

3.1.6 TRIANGULAÇÃO DE DADOS

A triangulação de dados é uma estratégia metodológica utilizada para aumentar a validade, a confiabilidade e a robustez dos resultados em pesquisas científicas. Ela consiste na combinação e integração de múltiplas fontes de dados, métodos de coleta e análise, e perspectivas teóricas para investigar o mesmo fenômeno (Denzin, 1978; Abdalla, 2013). Ao utilizar diferentes fontes, como revisão sistemática da literatura, entrevistas qualitativas e

questionários quantitativos, a triangulação permite a compensação das limitações inerentes a cada método isoladamente, enriquecendo a compreensão global do objeto de estudo (Júnior et al., 2016; Flick, 2018).

Além disso, a triangulação reduz a possibilidade de vieses metodológicos e interpretações parciais, promovendo uma análise mais profunda e abrangente (Marcondes & Brisola, 2014). Essa abordagem também favorece a convergência dos dados, possibilitando o cruzamento e a validação cruzada das informações coletadas, o que fortalece a confiança nas conclusões e aumenta a credibilidade da pesquisa (Creswell & Plano Clark, 2017).

A triangulação pode se dar em diferentes dimensões, tais como:

- [1] Triangulação de dados: uso de diferentes fontes de dados ou amostras para a análise (Denzin, 1978).
- [2] Triangulação metodológica: aplicação de múltiplos métodos de coleta, como entrevistas, questionários e análise documental (Flick, 2018).
- [3] Triangulação teórica: análise sob diferentes perspectivas teóricas para enriquecer a interpretação dos dados (Patton, 2015).
- [4] Triangulação de pesquisadores: envolvimento de múltiplos pesquisadores para minimizar vieses pessoais e garantir maior rigor na análise (Abdalla, 2013).

No presente estudo, a triangulação de dados foi aplicada por meio da integração das informações provenientes da revisão sistemática da literatura, das entrevistas semiestruturadas com especialistas do setor e dos questionários estruturados aplicados aos participantes. Essa estratégia metodológica foi relevante para garantir a coerência e a consistência dos resultados, possibilitando uma análise crítica e multidimensional das oportunidades e desafios da implementação da IoT em microempresas de manufatura.

3.1.7 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

Os métodos de decisão multicritério (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) consistem em abordagens que permitem avaliar uma ou mais alternativas considerando múltiplos critérios simultaneamente (Roy, 1996). Essa metodologia auxilia na escolha da melhor opção ou do conjunto de opções mais adequadas entre diversas possibilidades (Brodny & Tutak, 2023). A análise multicritérios é, portanto, uma ferramenta essencial para problemas complexos de decisão, pois oferece uma estrutura analítica capaz de ponderar diferentes

objetivos, preferências e restrições, garantindo maior transparência e racionalidade no processo decisório (Lieggio Junior, Granemann & Souza, 2012).

Diferentemente das abordagens unidimensionais, a análise multicritérios reconhece a natureza multifacetada dos problemas, incorporando critérios quantitativos e qualitativos, bem como aspectos econômicos, sociais, ambientais e técnicos (Longaray et al., 2016). Além disso, considera a diversidade de perspectivas dos atores envolvidos, promovendo participação e legitimidade nas decisões (Lieggio Junior et al., 2012).

Entre os principais benefícios dessa abordagem, destaca-se a capacidade de estruturar e comparar sistematicamente alternativas por meio de técnicas como análise hierárquica, métodos de apoio à decisão e análise de valor (Campos, 2011). Essa estruturação permite quantificar preferências, reduzir ambiguidades e lidar com incertezas, utilizando análises de sensibilidade para avaliar a robustez das escolhas frente a diferentes cenários (Rodriguez, Costa & Carmo, 2013). Contudo, sua aplicação exige definição clara dos critérios, coleta de dados relevantes e interpretação cuidadosa dos resultados (Dos Santos Amaral, 2020).

Neste estudo, adotou-se o método Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), desenvolvido por Hwang e Yoon (1981), amplamente utilizado em contextos que envolvem critérios conflitantes e dados quantitativos e qualitativos. O TOPSIS baseia-se na premissa de que a melhor alternativa é aquela mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa (Feng & Wang, 2000; Biswas et al., 2024). A solução ideal positiva representa os melhores valores para todos os critérios, enquanto a negativa reúne os piores valores. Essa característica torna o TOPSIS uma técnica prática e eficaz para classificação e priorização de alternativas (Zhang et al., 2011).

3.1.8 MÉTODO FUZZY-TOPSIS

Zadeh (1965) criou a teoria dos conjuntos *fuzzy* (*Fuzzy Set Theory - FST*), buscando modelar sistemas compostos por categorias de elementos cujas delimitações são consideradas incertas, definidas por atributos não precisos ou com propriedades subjetivas,

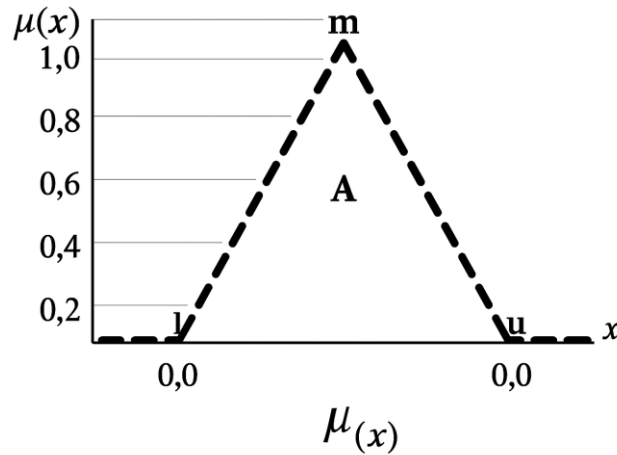
Na teoria clássica dos conjuntos, a pertinência a um conjunto pode ser definida como $\mu_A(x): X \rightarrow \{0, 1\}$, de forma tal que determinado elemento somente pode estar em uma única classe estabelecida, ou seja, pertence ou não pertence integralmente em uma classe, no exemplo, ou é zero (0), quando não pertence ao conjunto A, ou é um (1) quando pertence ao conjunto A.

Na teoria dos conjuntos Fuzzy, a função de pertinência é definida como $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$, de forma a permitir níveis de inclusão intermediários, ou seja na lógica Fuzzy, há vários níveis de pertinência entre os valores de pertinência “falso” (0) e “verdadeiro” (1) (Gabriel Filho, 2023; Zadeh, 1965), assim um copo d’água pode estar meio cheio e meio vazio ao mesmo tempo, pela lógica Fuzzy.

No método Fuzzy TOPSIS, os valores das alternativas são identificadas como variáveis linguísticas (Tabela 1), ou seja, expressam a linguagem natural, possibilitando qualificações através de faixas de gradações, permitindo incorporar a imprecisão do julgamento humano (Zadeh, 1973).

Neste trabalho em específico, utilizou-se números fuzzy triangulares, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: Função de pertinência triangular para o conjunto fuzzy A



$$Sendo \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in \{l, m\} \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in \{m, u\} \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

O número triangular fuzzy é escrito na forma (l, m, u), em que “l” (baixo) representa o limite inferior, “m” (médio) o valor médio, e o “u” (alto), o limite superior (Kahraman, 2008, Dos Santos et al., 2019)).

Cada especialista expressa a sua opinião sobre as assertivas (alternativas), baseados na escala de valor linguístico apresentada na Tabela 1, variando de Discordo totalmente (DT), com números fuzzy de (1, 1, 3) a Concordo totalmente (7, 9, 9).

3.1.9 Entropia Fuzzy de Shannon para definição dos pesos dos critérios

Para determinar a relevância de cada critério no contexto do MCDM, é necessário atribuir pesos adequados aos valores analisados. Enquanto alguns estudos recorrem à experiência ou ao conhecimento de especialistas para definir pesos subjetivos, outros utilizam dados empíricos e propriedades estatísticas para estabelecer pesos objetivos (Zhang et al., 2011). Neste trabalho, adotou-se o método objetivo denominado Information Entropy Weight (IEW), ou Peso de Entropia da Informação, fundamentado nos dados brutos e no conceito de entropia informacional. A entropia, originalmente definida por Rudolph Clausius em 1865, refere-se à indisponibilidade de energia em um sistema para realizar trabalho, sendo uma medida de desordem — quanto maior a desordem, maior a entropia. Posteriormente, Claude E. Shannon (1948) introduziu a entropia da informação como um indicador da incerteza associada a uma variável aleatória.

Neste estudo, foi utilizada uma extensão do conceito de entropia de Shannon, desenvolvida por Kacprzak (2017), para determinar os pesos fuzzy dos critérios em um método de decisão multicritério baseado em números fuzzy ordenados.

Para compreender o procedimento, considere um conjunto de alternativas:

$$\{A_1, A_2, \dots, A_M\}$$

$$\{A_1, A_2, \dots, A_N\}$$

e um conjunto de critérios:

$$\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$$

Kacprzak, D. (2017). Objective Weights Based on Ordered Fuzzy Numbers for Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Methods. *Entropy*, 19(7), 373. <https://doi.org/10.3390/e19070373>

Esse conjunto pode ser representado na forma matricial, conforme a equação (2), onde $\tilde{x}$ denota um número fuzzy:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{21} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \end{array} \right] \end{matrix}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \widetilde{D} = & A_i & \widetilde{x}_{i1} & \widetilde{x}_{i2} & \vdots & \widetilde{x}_{in}, & i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \\ & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ & A_m & \widetilde{x}_{m1} & \widetilde{x}_{m2} & \vdots & \widetilde{x}_{mn} \end{array} \quad (2)$$

Etapa 1 – Normalização da matriz de decisão fuzzy

A normalização dos dados é realizada dividindo cada número da matriz pelo somatório da respectiva linha (alternativa). A matriz normalizada é representada por:

$$\widetilde{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Etapa 2 – Construção da matriz $\widetilde{n}_{ij} \times L_n (\widetilde{n}_{ij})$

Nesta etapa, utiliza-se os valores normalizados obtidos na Etapa 1 para calcular a matriz que será usada no cálculo da entropia, aplicando a função logarítmica natural a cada elemento.

Etapa 3 – Cálculo do somatório por coluna (critérios)

Calcula-se o somatório dos valores normalizados para cada critério, considerando separadamente os limites inferior (l), médio (m) e superior (u) dos números fuzzy.

Etapa 4 – Cálculo do valor negativo de h

Seja t_o número de alternativas, o valor de h é calculado pela expressão:

$$-h = -\left(\frac{1}{Ln_t}\right) \quad (4)$$

Etapa 5 – Cálculo da entropia (e_j)

A entropia é calculada para cada critério utilizando os valores normalizados obtidos nas etapas anteriores. O cálculo é realizado separadamente para os limites inferior (l), médio (m) e superior (u) dos números fuzzy, conforme a expressão:

$$-h * \text{Soma (baixo)} \quad (5)$$

$$-h * \text{Soma (Médio)} \quad (6)$$

$$-h * \text{Soma (Alto)} \quad (7)$$

Etapa 6 – Cálculo do vetor de diversificação fuzzy $\widetilde{d} = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$ onde:

$$d = 1 - e_j, j = 1, 2, \dots, n - \text{criterias} \quad (8)$$

$$d_l = 1 - (-h * \text{Soma (baixo)}) \quad (9)$$

$$d_m = 1 - (-h * \text{Soma (medio)}) \quad (10)$$

$$d_u = 1 - (-h * \text{Soma (alto)}) \quad (11)$$

Etapa 7 – Cálculo do vetor de pesos fuzzy $\tilde{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, onde:

$$\tilde{w}_j (\text{baixo}) = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_{j\text{baixo}}} \quad (12)$$

$$\tilde{w}_j (\text{medio}) = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_{j\text{medio}}} \quad (13)$$

$$\tilde{w}_j (\text{alto}) = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_{j\text{alto}}} \quad (14)$$

Para verificação, a soma dos pesos em cada linha (lower, medium e upper) deve ser igual a um (1), ou seja, 100%. Essa condição garante a consistência do modelo e a correta normalização dos pesos atribuídos aos critérios.

3.1.10 O método TOPSIS de Entropia Fuzzy

Etapa A – Normalização da matriz de decisão fuzzy

A matriz de decisão original é normalizada para eliminar diferenças de escala entre os critérios. Cada elemento fuzzy é ajustado em relação ao valor máximo da coluna (critério), no caso de critérios de benefício, ou ao valor mínimo, no caso de critérios de custo. A matriz normalizada é representada por:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}] \text{ m x n, } i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Onde:

Para critérios de benefícios:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), \quad c_j^+ = \text{Max}_i c_{ij} \quad (16)$$

Para critérios de custo:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{bij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad c_j^- = \text{min}_i a_{ij} \quad (17)$$

Etapa B – Ponderação da matriz normalizada

Após a normalização, procede-se à ponderação da matriz fuzzy normalizada. Essa etapa consiste em multiplicar cada elemento da matriz normalizada pelos respectivos pesos atribuídos

aos critérios, obtidos previamente pelo método de entropia. O resultado é a **matriz ponderada normalizada**, representada por:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}] m \times n, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, (18)$$

Onde:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (19)$$

Essa operação assegura que a importância relativa de cada critério seja incorporada ao processo decisório, permitindo que alternativas sejam avaliadas não apenas pelos seus valores normalizados, mas também pelo peso estratégico de cada critério.

Etapa C – Determinação das soluções ideais positiva (A^+) e negativa (A^-)

Após a ponderação, define-se a **solução ideal positiva (A^+)** e a **solução ideal negativa (A^-)**.

- A solução ideal positiva é composta pelos maiores valores de cada critério na matriz ponderada, representando o cenário mais desejável.

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+), \text{ where } \tilde{v}_1^+ = \text{Max } \{\tilde{v}_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

A solução ideal negativa é formada pelos menores valores de cada critério, representando o cenário menos desejável.

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \text{ where } \tilde{v}_1^- = \text{min } \{\tilde{v}_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

Etapa D – Cálculo das distâncias às soluções ideais

Para cada alternativa, calcula-se a distância em relação às soluções A^+ e A^- utilizando o método do vértice, que mede a diferença entre dois números fuzzy. As distâncias são obtidas pelas expressões:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

O método do vértice calcula a distância entre dois números fuzzy $(d_v(\tilde{a}, \tilde{b}))$, como:

$$\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3) \quad (24)$$

$$\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3) \quad (25)$$

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + ((a_2 - b_2)^2) + ((a_3 - b_3)^2)} \quad (26)$$

Essa métrica garante uma avaliação consistente das diferenças entre alternativas e soluções ideais.

Etapa E – Cálculo do coeficiente de proximidade (CCj)

Após determinar as distâncias de cada alternativa em relação às soluções ideal positiva (A^+) e ideal negativa (A^-), calcula-se o **coeficiente de proximidade (CCj)**, que indica o grau de similaridade da alternativa com a solução ideal positiva. A fórmula é:

$$CC_j = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, m \quad (27)$$

Quanto mais próximo de 1 for o valor de **CCj**, maior será a preferência pela alternativa.

Etapa F – Ranqueamento das alternativas

Com base nos valores de **CCj**, as alternativas são ordenadas em ordem decrescente. A alternativa com maior coeficiente é considerada a melhor opção, seguida das demais conforme seus respectivos valores.

3.1.11 MATRIZ DE AMARRAÇÃO

A Matriz de Amarração (Mazzon; Telles, 2001) assegura a coerência vertical do estudo, vinculando a questão de pesquisa aos objetivos (geral e específicos), aos procedimentos

e instrumentos de coleta e aos métodos de análise. Nesta pesquisa, voltada à implementação de Internet das Coisas (IoT) no saneamento básico (com foco em hidrômetros inteligentes), a matriz integra: (i) a questão central sobre oportunidades e desafios; (ii) o objetivo geral e os objetivos específicos; (iii) a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e o estudo de campo com formulário em escala decimal e entrevistas semiestruturadas; e (iv) os procedimentos analíticos, que incluem análise temática, estatística descritiva, triangulação e Análise Multicritério (TOPSIS) para priorização. A Tabela 3 apresenta a Matriz de Amarração desta pesquisa; os Apêndices A (roteiro de entrevista) e B (formulário) detalham os instrumentos. A consolidação e o ranqueamento das prioridades são descritos na Seção 3.2.

Tabela 5 – Matriz de Amarração

Questão de pesquisa	Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Procedimento de Coleta de Dados	Instrumento de Coleta	Roteiro de Perguntas / Itens	Procedimentos de Análise de Dados
Quais são as oportunidades e desafios mais relevantes na implementação de IoT (Indústria 4.0) — com foco em hidrômetros	Identificar as oportunidades e desafios mais relevantes para a implementação de IoT em empresa de saneamento.	(a) Identificar na literatura as oportunidades para implementação de IoT no saneamento (hidrômetros inteligentes).	Revisão Sistemática da Literatura (RSL).	Protocolo de RSL (bases: Scopus, WoS, BDTD; critérios de inclusão/exclusão; strings de busca).	Guias de extração: categorias de oportunidades (eficiência operacional, redução de perdas, manutenção preditiva, telemetria, sustentabilidade, atendimento ao cliente).	Síntese narrativa; análise temática/categorial; quadro de evidências por estudo/contexto.

inteligentes — no setor de saneamento básico?						
		(b) Identificar na literatura os desafios para implementação de IoT no saneamento.	RSL (mesmo protocolo do item a).	Planilha de extração; formulário de avaliação metodológica dos estudos.	Categorias de desafios (CAPEX/OP EX, integração com legados, segurança e privacidade de dados, interoperabilidade, cobertura de rede, capacitação/cultura).	Síntese narrativa; análise temática; quadro comparativo de desafios.
		(c) Identificar em campo as oportunidades e desafios percebidos como mais relevantes por especialistas	Pesquisa de campo (método misto).	(i) Formulário com Escala Decimal (1–10). (ii) Entrevistas semiestruturadas.	Formulário (Apêndice B): itens derivados da RSL para mensurar relevância (1–10). Roteiro de Entrevista (Apêndice	Quantitativo: estatística descritiva (média, DP, IC) e consistência (ex.: alfa de Cronbach, se

		/gestores da empresa.			A): perguntas abertas sobre adoção, barreiras e ganhos.	aplicável). Qualitativo : análise de conteúdo/temática; codificação com base nas categorias da RSL. Triangulação entre fontes.
		(d) Estabelecer (priorizar) oportunidades e desafios mais relevantes para decisão gerencial.	Triangulação de dados + Análise Multicritério (MCDM).	Matriz de decisão (alternativas = oportunidades /desafios; critérios = relevância, impacto, viabilidade, risco etc.); planilha com pesos (Entropia da Informação – IEW).	Critérios e pesos definidos a partir dos resultados do formulário/e ntrevistas e verificação com especialistas.	TOPSIS: normalização, aplicação de pesos (IEW), cálculo de distâncias às soluções ideal/anti-ideal, ranqueamento, análise de sensibilidade e quadro-síntese para gestores.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Objetivo Específico	Atendimento dos Objetivos
(a) Identificar na literatura as oportunidades para implementação de projetos de IoT da Indústria 4.0, com hidrômetros inteligentes	2.8 OPORTUNIDADES EM PROJETOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE HIDRÔMETROS INTELIGENTES
(b) Identificar na literatura os desafios para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes.	2.9 DESAFIOS EM PROJETOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE HIDRÔMETROS INTELIGENTES
(c) Identificar em campo as oportunidades e desafios consideradas relevantes para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes em empresa de saneamento básico, segundo entrevistas com especialistas.	4.1 RESULTADOS e 4.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO
(d) Estabelecer as oportunidades e desafios mais relevantes para implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) da indústria 4.0, de hidrômetros inteligentes em empresa de saneamento básico.	4.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS

3.2 UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise deste estudo serão os profissionais diretamente envolvidos nos processos de implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) em uma empresa do setor de Saneamento. Este grupo inclui, gerentes, diretores e especialistas em tecnologia da informação (TI). A diversidade funcional desses participantes é essencial para garantir uma compreensão multifacetada e aprofundada do fenômeno estudado, permitindo captar diferentes níveis hierárquicos e perspectivas técnicas, operacionais e estratégicas (Kerzner, 2017).

A escolha da empresa possibilita um ambiente propício para observação detalhada das dinâmicas internas relacionadas à implementação de IoT, refletindo as particularidades e desafios enfrentados por grandes organizações durante a adoção de tecnologias emergentes (Yin, 2018). Além disso, a inclusão de diferentes cargos e áreas de atuação contribui para a robustez da análise, pois possibilita a triangulação de opiniões e a mitigação de vieses que poderiam surgir ao focalizar apenas um grupo específico (Stake, 1995).

Essa abordagem metodológica está alinhada com recomendações da literatura, que enfatizam a importância de considerar múltiplas unidades de análise para estudos organizacionais complexos, especialmente em contextos tecnológicos e inovadores, onde as interações entre diferentes atores influenciam diretamente os resultados dos projetos (Creswell & Creswell, 2017). Assim, a variedade de profissionais analisados fornece uma base sólida para a compreensão das barreiras, oportunidades e impactos decorrentes da implementação de IoT, enriquecendo as conclusões e recomendações do estudo.

3.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS

A pesquisa teve início com uma revisão sistemática da literatura, que permitiu identificar as principais oportunidades e desafios relacionados à implementação de projetos de Internet das Coisas (IoT) no contexto da Indústria 4.0, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2. Com base nesses resultados, foi desenvolvido um formulário utilizando a Escala de Expressão Linguística, por meio do qual os participantes avaliaram os aspectos levantados.

O questionário foi respondido por profissionais em diferentes níveis hierárquicos, incluindo gerentes, analistas e técnicos, reconhecidos em seus campos de atuação, por elevado saber e experiência, conceituados pelas suas capacidades, estudiosos sobre projetos de

hidrômetros inteligentes, que por ser uma nova tecnologia, conta com poucos especialistas, contemplando tanto as oportunidades e desafios apontados na literatura quanto questões de natureza gerencial.

Posteriormente, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com todos os participantes (Apêndice A), permitindo maior liberdade para que expressassem suas percepções, experiências e práticas relacionadas à adoção da IoT.

Antes da aplicação definitiva, as perguntas do formulário e das entrevistas passaram por um pré-teste realizado por dois especialistas da área, garantindo sua validade.

A coleta de dados ocorreu entre agosto e setembro de 2025. Para proporcionar maior conforto aos respondentes, as entrevistas foram conduzidas por um profissional da área de TI, cuja proximidade com os colaboradores favoreceu um ambiente mais receptivo. Como não houve autorização para gravação, as respostas foram registradas manualmente pelo entrevistador.

A relação dos participantes, incluindo cargo e tempo de experiência, está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Relação de Participantes

Empresa	Cargo	Experiência (anos)
A	Especialista em Automação e Telemetria	7
A	Gerente	15
B	Engenheiro	19
A	Analista de Gestão	33
A	Gerente	10
A	Técnico em Gestão	28
C	Gerente	25
D	Gerente	18
A	Gerente	30
E	Gerente	17

Fonte: Elaborado pelo auto

3.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados combinou abordagens qualitativa e quantitativa de forma integrada, garantindo triangulação e coerência com os objetivos do estudo sobre a implementação de Internet das Coisas (IoT) no contexto da Indústria 4.0. As entrevistas semiestruturadas foram examinadas por análise de conteúdo temática, iniciando-se pela leitura exploratória e familiarização do material, seguida de codificação aberta orientada pelas categorias derivadas da revisão da literatura. Em seguida, os códigos foram agregados axialmente em temas, os quais passaram por revisão, definição e nomeação, culminando em sínteses interpretativas com quadros de evidências e trechos ilustrativos. Para reforçar transparência e confiabilidade, foram produzidos dados analíticos e mantida trilha de decisão, registrando os critérios empregados nas passagens de trecho para código e de código para tema (Bardin, 1977).

A priorização multicritério foi conduzida pelo método TOPSIS, com pesos objetivos obtidos através da *Information Entropy Weight* (IEW) ou Peso de Entropia de Informação, estruturando-se uma matriz de decisão que relacionou alternativas (oportunidades e desafios) a

critérios de decisão (relevância, impacto esperado, viabilidade e risco). Procedeu-se à normalização vetorial, ponderação pela matriz de pesos, identificação das soluções ideal e anti-ideal, cálculo das distâncias e do índice de proximidade e, por fim, ao ranqueamento das alternativas. Todas as rotinas quantitativas foram implementadas em planilha eletrônica Excel®, e a codificação qualitativa foi organizada em planilhas Excel®; em ambos os casos, cada transformação foi documentada para assegurar rastreabilidade entre dados de entrada, processamento e resultados. Esse encadeamento analítico produz, de maneira integrada, explicações substantivas, quantificação da intensidade dos fenômenos e uma ordem de prioridades operacionalizável, oferecendo subsídios sólidos para decisões estratégicas e operacionais sobre a adoção de IoT.

3.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Os resultados apresentados devem ser interpretados à luz de algumas limitações. Em primeiro lugar, a delimitação contextual restringe a generalização: o estudo concentrou-se em empresas de um recorte setorial e geográfico específico, em fase de implementação de soluções de IoT no contexto da Indústria 4.0, o que pode não refletir integralmente realidades de outros segmentos, regiões ou estágios de maturidade digital. A amostragem por conveniência e o tamanho da amostra, composto por perfis internos (operações, supervisão e TI), favorecem a profundidade descritiva, mas limitam a inferência estatística e a extrapolação externa dos achados (Veludo, 2001).

Do ponto de vista metodológico, a natureza transversal da coleta (realizada em período delimitado) captura um retrato momentâneo, sem observar dinâmicas temporais de adoção. Não houve grupo de comparação nem linha de base pré-implementação, o que restringe inferências causais. Embora a estratégia mista (questionário em escala decimal e entrevistas semiestruturadas) e a triangulação aumentem a robustez interpretativa, persistem riscos de viés de resposta e desejabilidade social nos autorrelatos, além de viés de seleção pela participação voluntária. A impossibilidade de gravação de entrevistas substituída por anotações pode ter reduzido a fidelidade de nuances discursivas, afetando a profundidade da análise qualitativa; adicionalmente, a aplicação das entrevistas por profissional interno de TI, embora tenha ampliado o conforto dos respondentes, pode introduzir viés de relacionamento.

No plano mensurável, a avaliação por escala de concordância oferece um mapa de percepção útil à gestão, porém não equivale a medidas objetivas de desempenho (ex.: telemetria, indicadores operacionais e financeiros), o que limita conclusões sobre impactos efetivos. A verificação de consistência interna depende do número de itens por bloco e do tamanho amostral; em amostras reduzidas, estimativas (p.ex., correlações) podem sofrer com baixo poder estatístico. Na etapa multicritério, o ordenamento pelo método TOPSIS é sensível à escolha de critérios e ponderações; mesmo com pesos objetivos por entropia e análise de sensibilidade, permanece a dependência das premissas adotadas e do conjunto de alternativas consideradas.

Por fim, o tema estudado IoT aplicado à transformação digital ainda está em evolução no ambiente organizacional brasileiro. Lacunas de conhecimento prático e diversidade de maturidade entre empresas podem ter influenciado percepções sobre oportunidades e desafios, assim como a interpretação de riscos e benefícios. Em conjunto, essas condições não invalidam os resultados, mas delimitam seu escopo: os achados devem ser lidos como evidências situadas, úteis para orientar decisões no contexto analisado, e não como generalizações universais.

Como desdobramentos, recomenda-se a replicação em múltiplos contextos (setores e regiões), o uso de séries temporais com linha de base e marcos de implementação, a integração de dados objetivos (telemetria, indicadores operacionais/financeiros) aos dados perceptivos, e a comparação de métodos multicritério (variando critérios e pesos) para testar a estabilidade das prioridades. Esses avanços podem mitigar as limitações aqui descritas e ampliar a robustez externa e causal das conclusões.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa da pesquisa, são apresentados os principais achados obtidos, acompanhados de uma análise cuidadosa e reflexiva. Os dados são interpretados à luz dos objetivos definidos anteriormente, permitindo verificar em que medida os resultados estão alinhados com as expectativas iniciais e com os estudos já realizados sobre o tema.

A análise busca não apenas confirmar tendências, mas também explorar possíveis leituras alternativas, ampliando a compreensão dos fenômenos observados. Essa abordagem crítica contribui para enriquecer o debate e fortalecer a consistência das conclusões.

4.1 RESULTADOS

Esta seção apresenta, de forma integrada, os resultados obtidos a partir do desenho metodológico misto adotado no estudo: entrevistas semiestruturadas (análise de conteúdo) e por uma etapa de priorização multicritério conduzida pelo método Fuzzy Entropy–TOPSIS. O foco empírico recai sobre a implementação de hidrômetros inteligentes baseados em IoT no saneamento, contemplando percepções de atores operacionais e gerenciais e a consolidação de evidências quantitativas em um ranking gerencial robusto. A narrativa abaixo organiza os achados em três camadas: evidências qualitativas, evidências quantitativas e síntese multicritério.

No componente qualitativo, a análise de conteúdo revelou forte convergência de relatos em torno de ganhos operacionais e informacionais proporcionados pela telemetria dos hidrômetros. As entrevistas apontaram a melhoria da tomada de decisão orientada por dados, com destaque para a disponibilidade quase em tempo real de indicadores de consumo, alarmes de anomalia (vazamentos, consumos atípicos, fraudes potenciais) e trilhas de auditoria que aumentam a rastreabilidade dos eventos.

Emergiu de forma recorrente a elevação da eficiência operacional, associada à automação de leituras, redução de visitas de campo, maior coordenação entre operação e manutenção e diminuição de tempos ociosos. Também se observou ênfase em redução de perdas e custos, impulsionada por detecção precoce de vazamentos e melhor gestão de pressão e de ativos. A confiabilidade da informação pela minimização de erros de digitação e

duplicidades e a manutenção preditiva, antecipação de falhas e melhor planejamento de intervenções completam o núcleo duro de benefícios percebidos.

Entre as limitações e barreiras, os entrevistados destacaram CAPEX inicial elevado, integração com sistemas legados, segurança e privacidade de dados (aderência à LGPD), capacitação e cultura organizacional e infraestrutura de conectividade (cobertura/qualidade de rede). Resistências culturais e dúvidas quanto ao ROI de curto prazo aparecem, mas tendem a reduzir quando os indicadores tornam visíveis os ganhos operacionais.

No componente quantitativo, as respostas do formulário confirmaram e quantificaram a hierarquia intuitiva observada nas entrevistas. Os itens vinculados à decisão baseada em dados, eficiência operacional, redução de perdas/custos, confiabilidade da informação e manutenção preditiva apresentaram médias elevadas e dispersões moderadas, sugerindo consenso prático entre perfis distintos (operação, manutenção, gestão e finanças). Nos blocos de desafios, investimento inicial e integração com legados concentraram as maiores médias de preocupação, seguidos por segurança/privacidade e capacitação/cultura. A conectividade apresentou variação relativa, compatível com diferenças de infraestrutura entre localidades. Quando estatisticamente cabível, as correlações indicaram associação positiva entre confiabilidade dos dados e eficiência/decisão, sinalizando que a melhoria informacional se relaciona a ganhos operacionais percebidos; já percepções mais críticas sobre integração e segurança correlacionaram-se com maior ceticismo em relação ao ROI no horizonte imediato. Os testes de consistência interna por bloco sugeriram coerência aceitável dos agrupamentos, reforçando a validade de leitura dos constructos.

A síntese multicritério utilizou Fuzzy Entropy–TOPSIS para transformar julgamentos potencialmente imprecisos (inerentes a avaliações humanas) em pesos objetivos e um ranking por proximidade às soluções ideal e anti-ideal. Primeiro, a entropia fuzzy calculou os pesos dos critérios decisórios, relevância, impacto esperado, viabilidade de implementação e risco a partir da dispersão fuzzy das avaliações, preservando nuances de incerteza e variação entre respondentes. Em seguida, o Fuzzy TOPSIS normalizou e ponderou a matriz de decisão (alternativas $\times$ critérios), determinou as soluções ideal e anti-ideal fuzzy e computou os índices de proximidade.

Em termos de implicações gerenciais, os resultados convergem para uma trajetória de adoção faseada, iniciando por casos de uso com ganho verificável rápido (monitoramento, alarmística e perdas) e construindo, em paralelo, os alicerces para escalar (integração sistêmica, governança e segurança de dados, capacitação). Essa estratégia reduz riscos de iniciativas piloto

sem perenidade e favorece a institucionalização de rotinas de análise e resposta que sustentam o valor ao longo do tempo.

Em síntese, os resultados demonstram que a IoT em hidrômetros inteligentes oferece ganhos concretos e mensuráveis em decisão, eficiência e controle de perdas, quando ancorada em dados confiáveis e processos bem definidos. Os desafios identificados, embora relevantes, mostram-se administráveis por meio de um desenho técnico-financeiro cuidadoso, de uma arquitetura de integração compatível com legados, de segurança por design e de capacitação contínua. A adoção do Fuzzy Entropy–TOPSIS conferiu transparência, justificativa e legitimidade à priorização, fornecendo aos gestores um mapa operativo do que executar primeiro, como progredir e onde mitigar barreiras para capturar valor de forma sustentada. A tabela 7 apresenta o ordenamento das assertivas segundo a opinião dos especialistas. Quanto maior o índice de proximidade relativa C_i , maior a importância relativa do fator em análise.

Tabela 7 – Classificação das respostas

Classificação	Assertiva	C_i
1º	A26	0,995
2º	A8	0,988
3º	A10	0,981
4º	A13	0,976
5º	A18	0,974
6º	A6	0,971
7º	A19	0,942
8º	A9	0,936
9º	A11	0,935
10º	A16	0,925
11º	A23	0,920
12º	A24	0,899
13º	A20	0,883
14º	A17	0,875
15º	A21	0,873
16º	A22	0,871
17º	A25	0,851
18º	A7	0,850
19º	A15	0,793
20º	A5	0,750
21º	A2	0,741
22º	A12	0,666
23º	A1	0,653
24º	A4	0,631

25°	A3	0,580
26°	A14	0,188

4.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Há convergência entre os achados empíricos e a literatura: a telemetria de hidrômetros inteligentes eleva a granularidade e a tempestividade dos dados, permitindo coordenação operacional mais eficiente, manutenção preditiva e redução de perdas reais/aparentes. Os desafios identificados refletem barreiras conhecidas de transformação digital em serviços de rede (financiamento, integração de dados, cibersegurança, competências e mudança cultural). A partir da triangulação quali–quanti, observa-se que ganhos operacionais e ganhos do ROI tendem a reduzir a resistência e a facilitar a escala, quando acompanhados de governança de dados e desenho financeiro escalonado (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021).

4.2.1 OPORTUNIDADES

Seguem abaixo as dez oportunidades considerados mais relevantes.

1. Decisão orientada por dados: Leituras quase em tempo real e indicadores operacionais permitem respostas ágeis a anomalias e planejamento de demanda. (Oliveira, 2025; Iost, 2024).

Especialista 1: *“Com dados em tempo quase real, deixamos de decidir no escuro. Os hidrômetros inteligentes trazem o contexto certo para agir rapidamente e com segurança.”*

Especialista 4: *“Indicadores operacionais bem calibrados mudam o jogo. Passamos de percepções para fatos e melhoramos o planejamento de demanda.”*

Especialista 5: *“Ter visibilidade instantânea de anomalias nos dá agilidade. Isso reduz risco, melhora a tomada de decisão e fortalece a governança.”*

2. Eficiência operacional: Automação de leituras e integração de processos reduzem tempo ocioso, retrabalho e deslocamentos de campo. (Oliveira, 2025; Sanesoluti, 2025).

Especialista 8: *“Puxa, finalmente poderemos administrar melhor a integração de processos para um melhor trabalho de campo.”*

Especialista 2: *“A automação das leituras tira a equipe de tarefas repetitivas e libera tempo para atividades de maior valor. O ganho de eficiência é direto.”*

Especialista 6: *“Com processos integrados, evitamos retrabalho e viagens desnecessárias. O campo passa a atuar com ordem de serviço realmente necessária.”*

Especialista 3: *“A integração entre operação e manutenção reduz ruído e acelera resposta. É o tipo de melhoria que aparece na produtividade do dia a dia.”*

3. Redução de perdas e custos (OPEX): Detecção precoce de vazamentos, fraudes e consumos atípicos diminui perdas reais/aparentes e custos operacionais. (Sanesoluti, 2025; Metalacre, 2025).

Especialista 10: *“Identificar desvios cedo é essencial. Diminuímos perdas e evitamos mobilizações caras que não atacam a origem do problema.”*

Especialista 1: *“Algoritmos de detecção combinados com telemetria nos ajudam a separar perda real.”*

Especialista 9: *“Fraudes e consumos atípicos deixam um rastro nos dados. Com as novas leituras, conseguimos investigar com precisão e agir rápido.”*

4. Confiabilidade da informação: Coleta automatizada minimiza erros humanos, assegura rastreabilidade e melhora a qualidade dos dados para auditoria. (Iost, 2024; Sanesoluti, 2025)

Especialista 4: *“Reduzir a intervenção manual derruba a taxa de erro. A rastreabilidade completa facilita auditorias e aumenta a confiança nos indicadores.”*

Especialista 7: *“Quando a coleta é automatizada, o dado ganha integridade. Isso sustenta relatórios técnicos e decisões regulatórias com muito mais robustez.”*

Especialista 8: *“A qualidade do dado é o alicerce da engenharia. Com trilha de auditoria e registros consistentes, evitamos interpretações equivocadas.”*

5. Manutenção preditiva: Monitoramento contínuo antecipa falhas, reduz o tempo de parada de máquina e otimiza planejamento de intervenções. (Oliveira, 2025; Sanesoluti, 2025)

Especialista 3: *“Ter sinais precoces de degradação muda a programação de manutenção: saímos do corretivo para o preditivo e reduzimos indisponibilidades.”*

Especialista 5: *“Paradas planejadas e intervenções no momento certo diminuem custo e impacto no serviço. É ganho operacional com qualidade percebida.”*

Especialista 2: *“Planejamento com base em tendências de falha evita urgências e deslocamentos às pressas. A operação agradece.”*

6. Gestão integrada de recursos hídricos: Análise em larga escala de captação, distribuição e consumo, com suporte a decisões estratégicas. (Oliveira, 2025; Iost, 2024)

Especialista 7: *“Ver a cadeia de ponta a ponta captação, adução, distribuição e consumo nos permite balancear melhor a rede e priorizar investimentos.”*

Especialista 9: *“Com análises integradas, identificamos gargalos regionais e otimizamos manobras. A decisão estratégica fica mais assertiva.”*

Especialista 8: *“Modelos integrados apoiam cenários de demanda e resiliência. É base técnica sólida para planos diretores e expansão.”*

7. Otimização do consumo e sustentabilidade: Medidores inteligentes incentivam uso consciente e contribuem para metas do ODS 6. (ONU, 2024; Sanesoluti, 2025)

Especialista 6: *“Quando o cliente visualiza seu consumo, muda comportamento. Isso reduz desperdício e nos ajuda a cumprir metas de sustentabilidade.”*

Especialista 10: *“Alertas proativos e relatórios de consumo estimulam eficiência hídrica. É um passo concreto em direção ao ODS 6.”*

Especialista 1: *“A inteligência do medidor permite campanhas segmentadas e feedback rápido. Sustentabilidade com dado na veia.”*

8. Inovação e novos serviços: Dados gerados viabilizam serviços adicionais, como alertas personalizados e tarifação dinâmica. (Oliveira, 2025; Metalacre, 2025)

Especialista 8: *“Com granularidade de dados, surgem serviços de alto valor desde alertas personalizados até ofertas sob medida.”*

Especialista 4: *“A tarifação dinâmica depende de informações confiáveis e em tempo hábil. É inovação que melhora equilíbrio econômico e justiça tarifária.”*

Especialista 7: *“Novos serviços digitais aumentam engajamento e trazem receita acessória. É o dado abrindo portas para modelos de negócio.”*

9. Flexibilidade operacional: Arquiteturas IoT permitem escalabilidade e adaptação a diferentes topologias de rede. (Iost, 2024; Lopes et al., 2024)

Especialista 3: *“A arquitetura modular em IoT facilita crescer sem reescrever tudo. É escalabilidade com controle de complexidade.”*

Especialista 9: *“Topologias distintas exigem soluções flexíveis. Com dispositivos e protocolos interoperáveis, a rede se adapta ao território.”*

Especialista 5: *“A capacidade de incorporar novos nós e sensores sem grandes obras acelera projetos e reduz risco de implantação.”*

10. Melhoria na experiência do cliente: Transparência no consumo e comunicação proativa aumentam satisfação e reduzem inadimplência. (Metalacre, 2025; Sanesoluti, 2025)

Especialista 2: *“Mais transparência gera confiança. Com avisos de consumo e anomalias, o cliente se sente cuidado e participa da solução.”*

Especialista 10: *“Comunicação proativa reduz surpresa na conta e evita conflitos. A satisfação melhora e a inadimplência tende a cair.”*

Especialista 6: *“Quando o usuário entende o próprio perfil de consumo, ele planeja melhor e mantém a conta em dia. É benefício para todos.”*

4.2.2 DESAFIOS

Seguem abaixo os cinco desafios considerados mais relevantes.

1. Investimento inicial (CAPEX): Aquisição de dispositivos, redes e integração de sistemas exige alto desembolso inicial. (Oliveira, 2025; Sanesoluti, 2025)

Especialista 6: *“O custo inicial é significativo. Sem um plano claro de retorno, fica difícil justificar o investimento.”*

Especialista 2: *“Não é só comprar os dispositivos; a integração e infraestrutura pesam muito no orçamento.”*

Especialista 8: *“Projetos desse porte exigem planejamento financeiro robusto para não comprometer outras áreas.”*

2. Integração com sistemas legados: Heterogeneidade de bases e falta de padrões dificultam interoperabilidade. (Oliveira, 2025; Lopes et al., 2024)

Especialista 1: *“Cada sistema antigo tem sua lógica própria. Integrar sem perder dados é um desafio enorme.”*

Especialista 10: *“A falta de padrões entre plataformas antigas e novas gera retrabalho e aumenta risco de falhas.”*

Especialista 3: *“Precisamos de soluções que conversem com o legado sem exigir substituição total, senão o custo explode.”*

3. Segurança cibernética e privacidade (LGPD): Proteção de dados e arquitetura segura são essenciais para evitar vulnerabilidades. (Metalacre, 2025; Iost, 2024)

Especialista 4: *“Com dados sensíveis circulando, qualquer brecha pode virar um problema sério. Segurança tem que ser prioridade.”*

Especialista 9: *“A LGPD trouxe um nível de exigência alto. Não basta coletar dados, é preciso garantir anonimização e controle.”*

Especialista 1: *“Arquitetura segura é cara e complexa, mas sem isso não há confiança nem do cliente nem do regulador.”*

4. Capacitação e cultura organizacional: Carência de competências digitais e resistência à mudança comprometem a adoção. (Oliveira, 2025; Metalacre, 2025)

Especialista 10: *“A tecnologia é ótima, mas se as pessoas não sabem usar, vira um gargalo. Treinamento é essencial.”*

Especialista 1: *“Existe resistência natural à mudança. Precisamos trabalhar comunicação e mostrar benefícios para engajar.”*

Especialista 5: *“Não é só capacitar, é mudar a mentalidade. Sem cultura digital, a inovação não se sustenta.”*

5. Infraestrutura de conectividade: Cobertura e qualidade de rede impactam a confiabilidade da telemetria. (Lopes et al., 2024; Iost, 2024)

Especialista 3: *“Sem rede estável, os dados não chegam. Em áreas remotas, isso é um desafio enorme.”*

Especialista 8: *“A telemetria depende de conectividade robusta. Qualquer falha compromete a operação e a tomada de decisão.”*

Especialista 1: *“Precisamos garantir redundância e qualidade de sinal. Caso contrário, todo o investimento perde valor.”*

4.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A aplicação da Internet das Coisas (IoT) em hidrômetros inteligentes entrega valor operacional e público, conforme evidenciado na literatura e nos achados empíricos:

- Melhora a tomada de decisão, com leituras quase em tempo real e indicadores que suportam respostas ágeis e planejamento de demanda (Tao, Qi, Liu, & Kusiak, 2018; Rizk, 2023).
- Eleva a eficiência operacional, reduzindo deslocamentos, retrabalho e tempo ocioso por meio da automação das leituras e integração de processos (Li, Zhang, & Zhao, 2020; Zhang et al., 2021).
- Aumenta a confiabilidade da informação, minimizando erros humanos e garantindo rastreabilidade (Di Mauro et al., 2019).
- Reduz perdas e custos (OPEX), com detecção precoce de vazamentos, fraudes e consumos atípicos (Verma & Agrawal, 2021; Jagen et al., 2023).
- Viabiliza manutenção preditiva, antecipando falhas e reduzindo tempo e máquina parada (Adams & Jokonya, 2022; Jagen et al., 2023).

Por outro lado, os desafios são gerenciáveis com um plano de transformação estruturado, incluindo:

- Financiamento faseado, para mitigar o impacto do CAPEX inicial (Mishra, Alaba, Sacomano, & Kumar, 2022; Verma & Agrawal, 2021).
- Integração técnica com sistemas legados, garantindo interoperabilidade (Xu et al., 2020; Zhang et al., 2021).
- Segurança da informação e privacidade, alinhadas à LGPD (Alaba et al., 2022; Rizk, 2023).

- Capacitação e mudança cultural, para superar barreiras organizacionais (McKinsey & Company, 2021; Kumar et al., 2021).

A priorização das ações por meio do método Fuzzy Entropy–TOPSIS forneceu um mapa pragmático de implementação, indicando quais oportunidades devem ser atacadas primeiro, com robustez e transparência na tomada de decisão.

5 CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA

O objetivo deste trabalho foi identificar, com base na revisão sistemática da literatura e em evidências empíricas obtidas por meio de uma abordagem mista (questionário em escala de expressão linguística, entrevistas semiestruturadas e priorização multicritério via Fuzzy Entropy–TOPSIS), as oportunidades e os desafios mais relevantes para a implementação de soluções de Internet das Coisas (IoT) com hidrômetros inteligentes no saneamento básico. A contribuição para a prática, portanto, consiste em transformar os achados do estudo em um roteiro gerencial aplicável por companhias de saneamento, autarquias e operadores privados que buscam reduzir perdas, elevar eficiência e fortalecer a governança de dados. Entre os obstáculos analisados, o maior desafio observado na prática foi o CAPEX inicial, associado à aquisição de dispositivos, conectividade e integração sistêmica, seguido de perto pela integração com sistemas legados, ambos condicionantes do ritmo, da cobertura e da escala de adoção.

Partindo das oportunidades priorizadas, a primeira recomendação prática é converter decisão orientada por dados, eficiência operacional, redução de perdas/custos, confiabilidade da informação e manutenção preditiva em frentes de trabalho mensuráveis, com metas claras e marcos temporais definidos. Para que os ganhos observados sejam efetivamente atribuíveis às soluções, é essencial estabelecer linha de base e controles de viés (sazonalidade, perfis de consumo, pressão de rede e outras variáveis operacionais). A gestão orientada por evidências demanda indicadores de acompanhamento desde o início, envolvendo percentuais de leituras válidas, tempos de resposta a alarmes, vazamentos detectados e confirmados, economia estimada em m³ e em valores financeiros, além de métricas de qualidade de dados (completude, consistência e tempestividade).

A governança de dados deve ser implantada desde a fase de preparação. Na prática, isso significa criar o catálogo de dados, definir padrões mínimos de qualidade e perfis de acesso, estabelecer trilhas de auditoria e alinhar políticas à LGPD. É necessário detalhar o que será coletado (granularidade da telemetria), por quanto tempo e com qual finalidade, onde os dados serão armazenados, quem terá acesso e quais tratamentos serão aplicados para analytics e faturamento. Quando essa governança está ativa, decisões operacionais tornam-se reproduzíveis e auditáveis, reduzindo assimetrias de informação e controvérsias entre áreas técnicas e comerciais. Em paralelo, a arquitetura de integração deve privilegiar APIs e padrões abertos,

evitando dependência tecnológica e orquestrando os fluxos entre os sistemas de campo (NB-IoT/LoRaWAN/GPRS), a plataforma IoT, o middleware de integração e os sistemas de retaguarda (leitura/faturamento, CRM, ordens de serviço, BI). Um desenho modular em camadas (ingestão, tratamento e exposição de dados) facilita a evolução tecnológica e a interoperabilidade com medidores de múltiplos fornecedores.

No eixo financeiro, a jornada precisa ser tratada como programa multiperíodo, combinando CAPEX e OPEX e contemplando mecanismos de financiamento (incluindo, quando adequado, parcerias público-privadas). A análise do custo total de propriedade (TCO) deve cobrir hardware, conectividade, plataforma, integração, segurança, manutenção e depreciação, contrapostos a benefícios recorrentes: redução de perdas reais e aparentes, queda de custos de leitura e deslocamentos, menor inadimplência decorrente de maior acurácia e tempestividade, além de ganhos de produtividade em operação e manutenção. A priorização multicritério deve guiar a alocação de investimentos, começando por onde a captura de valor é mais provável: distritos de medição e controle com histórico de vazamentos, áreas com alta fraude presumida, zonas com maior potencial de recuperação de receita e segmentos críticos para o cumprimento de SLAs regulatórios.

A dimensão humana sustenta a captura dos benefícios. Um plano de capacitação eficaz deve cobrir quatro camadas: instalação e comissionamento em campo; operação da plataforma; análise de dados (dashboards e tratamento de alertas); e segurança da informação. Treinamentos curtos, centrados em casos de uso reais, aceleram a autonomia das equipes e favorecem a adoção de rotinas analíticas. Em paralelo, a gestão da mudança precisa ser explícita: comunicar o porquê (metas de perdas e qualidade), o como (processos redesenhados) e o que muda para cada perfil (leiturista, técnico de manutenção, analista, gestor). O envolvimento dos times de campo desde o início reduz resistência e aumenta a aderência a novos fluxos, como o tratamento sistemático de alarmes de vazamento, a priorização de ordens e a reprogramação de rotas com base em evidências.

Em operação, o valor nasce de rotinas disciplinadas. É recomendável instituir rituais de monitoramento: reuniões semanais de performance com indicadores-chave, inspeções mensais de qualidade de dados e revisões trimestrais do portfólio de intervenções, com realocação de equipes para “pontos quentes” revelados pela telemetria. A manutenção preditiva deve migrar de projeto para processo: parâmetros e limiares precisam ser versionados, com análise histórica simples para demonstrar que os modelos sinalizam problemas com antecedência útil e baixa taxa de falso positivo. Simultaneamente, a segurança por design exige segmentação de rede,

gestão de credenciais de dispositivos, criptografia fim a fim e capacidade de resposta a incidentes, integrando rotinas e responsabilidades entre TI e OT.

A seleção e a gestão de fornecedores requerem disciplina e critérios objetivos. Devem ser ponderadas características como desempenho de medição, robustez do rádio, autonomia de bateria, interoperabilidade, segurança, SLA de conectividade e suporte local. Contratos com KPIs verificáveis, disponibilidade, taxa de leitura válida, tempo médio para reparo (MTTR) e cláusulas de evolução tecnológica reduzem riscos. Boas práticas incluem manter ambientes permanentes de teste, documentação viva de integrações, simuladores de tráfego e uso de dados sintéticos para validar atualizações sem afetar a produção.

Por fim, a conversão de evidências em política interna garante escala e perenidade. Normas de especificação de equipamentos, guias de projeto de rede, padrões de integração, catálogos de alertas e manuais de operação devem tornar-se documentos oficiais. A cada ciclo de expansão, os resultados de pilotos e dos primeiros clusters devem retroalimentar as normas, consolidando aprendizados e ajustando metas. Dessa forma, a organização evolui de iniciativas pontuais para um programa contínuo de transformação, no qual a IoT aplicada à medição deixa de ser um fim em si mesma e se estabelece como infraestrutura informacional que sustenta decisões melhores, serviço mais confiável e uso responsável da água. Em síntese, os achados deste trabalho oferecem um mapa pragmático e replicável: ao priorizar casos de uso de alto impacto e viabilidade, tratar CAPEX e integração com legados como riscos-chave, institucionalizar governança de dados e segurança, e profissionalizar rotinas operacionais, os serviços de saneamento conseguem reduzir perdas, elevar eficiência e consolidar sua transformação digital com evidências mensuráveis e resultados sustentáveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foi desenvolvido um instrumento de coleta de dados baseado na revisão sistemática da literatura científica, contemplando as principais oportunidades e desafios para a implementação de hidrômetros inteligentes no saneamento básico. Esse instrumento foi submetido à análise de dez especialistas do setor, utilizando escalas de termos linguísticos para captar nuances e reduzir a imprecisão das respostas, permitindo uma avaliação mais robusta das percepções. A aplicação desse método, integrada à triangulação quali-quantitativa e ao arranjo multicritério Fuzzy Entropy TOPSIS, possibilitou transformar julgamentos dispersos em prioridades gerenciais objetivas, fornecendo um mapa confiável para orientar decisões estratégicas.

Os achados indicam que a adoção de IoT em hidrômetros inteligentes não deve ser tratada como um projeto isolado, mas como um programa de transformação organizacional, que conecta processos, pessoas, tecnologia, finanças e governança. A contribuição prática deste estudo consiste em oferecer um roteiro estruturado para implementação, com recomendações aplicáveis por companhias de saneamento, autarquias e operadores privados. Esse roteiro parte das oportunidades priorizadas — decisão orientada por dados, eficiência operacional, redução de perdas e custos, confiabilidade da informação e manutenção preditiva — e as converte em frentes de trabalho mensuráveis, com metas claras e indicadores antes-depois que façam sentido para as áreas operacionais e para a alta gestão.

Entre os principais pontos do roteiro, destacam-se:

- Governança de dados desde o início, com definição de papéis, padrões de qualidade, perfis de acesso e trilhas de auditoria, garantindo conformidade com a LGPD e evitando que a telemetria se torne “dado ocioso”.
- Arquitetura tecnológica modular e interoperável, baseada em APIs e padrões abertos, assegurando integração entre sistemas de campo, plataformas IoT e sistemas corporativos (faturamento, CRM, ordens de serviço, BI).
- Capacitação e gestão da mudança, com treinamentos práticos e comunicação clara sobre objetivos, processos e impactos para cada perfil profissional, reduzindo resistência e aumentando a aderência.
- Rotinas operacionais e segurança por design, com rituais de monitoramento, validação retroativa de modelos preditivos, segmentação de rede, criptografia fim a fim e

integração entre equipes de TI (Tecnologia da Informação) e OT (Tecnologia de Operações).

- Seleção e gestão de fornecedores com critérios objetivos, contratos baseados em KPIs verificáveis e cláusulas de evolução tecnológica, além de ambientes permanentes de teste e documentação viva de integrações.
- Institucionalização e escala, convertendo evidências em normas internas, guias técnicos e padrões de integração, garantindo perenidade e evolução contínua.

Do ponto de vista estratégico, a recomendação central é começar por iniciativas que combinam alto impacto e alta viabilidade, como telemetria e painéis de controle operacionais, automação de leituras e melhoria da qualidade dos dados. A maturidade digital deve ser considerada como variável de projeto, prevendo tutoriais e rotinas que consolidem o uso do dado no cotidiano. Em síntese, os achados sustentam que a IoT aplicada a hidrômetros inteligentes entrega valor público e operacional quando implementada com método, prova de valor e gestão da mudança. O resultado é um roteiro realista e replicável, capaz de orientar serviços de saneamento na captura de ganhos progressivos, elevando eficiência, confiabilidade e sustentabilidade do sistema, com benefícios diretos ao usuário final e ao equilíbrio econômico-financeiro da operação.

6.1 CONTRIBUIÇÕES PARA A ACADEMIA

A contribuição acadêmica deste trabalho se manifesta em três níveis complementares: empírico, metodológico e teórico-prático. No plano empírico, ilumina-se um domínio ainda sub-representado na literatura de transformação digital: o saneamento básico, com foco específico em hidrômetros inteligentes e telemetria de consumo. Ao registrar oportunidades (decisão orientada a dados, eficiência, manutenção preditiva, confiabilidade) e desafios (integração, segurança/privacidade, conectividade, competências), o estudo acrescenta nuances setoriais que diferem de contextos amplamente discutidos, como manufatura ou energia elétrica, e oferece um conjunto de categorias analíticas que pode servir de base a futuras investigações comparativas entre regiões, modelos de operação e níveis de maturidade digital. Essa ancoragem no “mundo real” agrega valor ao campo, aproximando os debates teóricos das contingências institucionais e tecnológicas que moldam a adoção no setor público e em serviços de rede.

No plano metodológico, a pesquisa apresenta a integração de análise multicritério Fuzzy Entropy TOPSIS, explicitando critérios, pesos, normalização e cálculo do índice de proximidade. Embora o TOPSIS e a lógica Fuzzy sejam conhecidos, sua aplicação articulada a dados primários de percepção (escala de expressão linguística) e entrevistas, com rastreabilidade das decisões analíticas, contribui para a literatura aplicada de MCDM em infraestrutura crítica. Ao tratar a incerteza dos julgamentos por meio de entropia Fuzzy, o trabalho avança no desafio recorrente de ponderar critérios de modo menos arbitrário, oferecendo um caminho replicável para reduzir subjetividade e reforçar a legitimidade das prioridades. A documentação dos passos desde a construção da matriz de decisão até as checagens de robustez fomenta reprodutibilidade e comparação entre estudos.

No plano teórico-prático, o estudo ajuda a consolidar a ponte entre as agendas de Indústria 4.0/IoT e governança de serviços públicos, indicando como camadas de valor (dados em tempo real, automação, predição) convertem-se em desfechos desejados (redução de perdas, eficiência, qualidade, sustentabilidade). O enquadramento adotado sugere que a efetividade da IoT depende menos de “artefatos técnicos isolados” e mais de padrões de interoperabilidade, governança de dados, incentivos e capacidades organizacionais. Assim, o trabalho reforça uma visão sistêmica de transformação, útil para pesquisadores interessados em trajetórias de adoção, difusão tecnológica e mensuração de impacto em políticas públicas.

Por fim, ao propor uma trilha metodológica que inclui ponderação objetiva pelo método Fuzzy Entropy TOPSIS e ao relacionar essa linha de pesquisa à decisões concretas de implementação, a pesquisa oferece um modelo de pesquisa aplicada que pode ser transportado para outros campos (eletricidade, resíduos, mobilidade, saúde), ampliando a contribuição do campo de projetos e operações para o debate sobre digitalização de serviços essenciais.

6.2 LIMITAÇÕES

As limitações deste estudo decorrem de condições contextuais, metodológicas e temporais. No plano contextual, os achados são situados: refletem realidades organizacionais específicas, com modelos de operação, arranjos contratuais, níveis de maturidade digital e infraestrutura de conectividade particulares. Isso restringe a generalização direta para cenários com lógicas regulatórias distintas, diferentes escalas de atendimento ou outras topologias de

rede. Além disso, a composição dos participantes (gestores, supervisores, operadores e responsável técnico) confere visão multifacetada, mas não esgota a diversidade de atores (p.ex., regulação, fornecedores, usuários finais), o que poderia trazer perspectivas adicionais sobre risco, benefício e aceitabilidade social.

No plano metodológico, no componente multicritério, o ranking depende da escolha de critérios e do esquema de ponderação; a adoção de Fuzzy Entropy reduz arbitrariedade, mas não elimina a dependência das premissas.

No plano temporal, o estudo captura um recorte transversal; a dinâmica de adoção tecnológica, seus efeitos cumulativos e aprendizado por experiência, tendem a se revelar em horizontes mais longos. Assim, inferências causais fortes sobre ganhos econômicos e operacionais demandariam séries históricas padronizadas.

Há, ainda, limitações técnicas associadas à interoperabilidade (padrões, APIs, legados), à cobertura e qualidade de conectividade e à segurança/privacidade (LGPD), que variam entre localidades e operadoras. Tais aspectos podem afetar tanto a viabilidade quanto a performance do sistema, sendo, portanto, condicionantes que ultrapassam a alçada direta de um projeto isolado. Finalmente, a mensuração de benefícios intangíveis (confiabilidade institucional, satisfação do usuário, reputação) não foi tratada de modo abrangente, constituindo oportunidade para trabalhos que integrem métodos de pesquisa de experiência do usuário e análise econômica.

Em conjunto, essas limitações delimitam o escopo de interpretação: os resultados são válidos como evidências situadas e como guia de priorização para contextos análogos, devendo ser complementados por investigações longitudinais, contrafactuais e análises técnicas específicas à realidade de cada serviço.

6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Pesquisas futuras podem avançar em quatro eixos articulados. O primeiro é o eixo longitudinal/causal: construir séries temporais com linha de base, marcos de implantação e indicadores “antes–depois” comparáveis.

O segundo é o eixo de integração de dados: combinar telemetria (consumo, alertas de vazamento, diagnóstico de dispositivos) com indicadores econômico-financeiros.

O terceiro eixo é metodológico-MCDM: comparar sistematicamente Fuzzy Entropy–TOPSIS com outros métodos (AHP/ANP, PROMETHEE) e esquemas de ponderação (CRITIC, SWARA, BWM).

O quarto eixo é explorar mapas de jornada do usuário e experimentos de comunicação para mensurar efeitos da transparência do consumo (portais/apps) sobre comportamento, satisfação e adimplência.

Ao combinar longitudinalidade, integração de dados, pluralidade metodológica, a agenda proposta tende a consolidar evidências mais fortes sobre quando, onde e como a IoT em hidrômetros inteligentes maximiza valor público, econômico e ambiental no saneamento básico.

REFERÊNCIAS

- Abdalla, R. (2013). Triangulação de dados em pesquisas qualitativas: Validação e confiabilidade. *Revista de Metodologia Científica*, 2(1), 45-60.
- Adams, M. N., & Jokonya, O. (2022). An investigation of smart water meter adoption factors at universities. *Procedia Computer Science*, 196, 324–331.
- Alaba, F., et al. (2022). Digital transformation challenges in Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- Ashton, K. (2009). That ‘Internet of Things’ Thing. *RFID Journal*.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo* (la reto, & a. Pinheiro, trad.) Lisboa: edições 70. *Publicação original*.
- Bazeley, P. (2018). *Integrating analyses in mixed methods research*. SAGE Publications.
- Brodny, J., & Tutak, M. (2023). Multi-criteria decision making in industrial management. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 16(1), 12-34.
- Coelho, F. P., Souza, R. M., & Albuquerque, F. J. (2020). Metodologias para construção de questionários: princípios e aplicações. *Revista Brasileira de Pesquisa*, 12(2), 45-62.
- Coelho, F., Souza, A., & Albuquerque, C. (2020). *Métodos de pesquisa em ciências sociais*. Editora Universitária.
- Creswell, J. W. (2010). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed.). Sage Publications.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2015). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage Publications.

- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.
- De Lunetta, M., & Guerra, M. (2023). *Metodologias de pesquisa aplicada*. Editora Acadêmica.
- De Melo, V. M., & Dos Santos Bianchi, R. (2015). Uso de questionários estruturados na pesquisa científica: validade e confiabilidade. *Revista de Ciências Sociais Aplicadas*, 3(1), 23-39.
- De Souza, V. H., Satyro, W., Contador, J. C., Pinto, L. F., & Mitidiero, M. C. (2023). The Technology Analysis model-TAM 4.0 for implementation of Industry 4.0. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(4), 271-281.
- Denzin, N. K. (1978). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Flick, U. (2018). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). Sage Publications.
- Gil, A. C. (1989). *Como elaborar projetos de pesquisa* (3ª ed.). Atlas.
- Higgins, J. P. T., & Green, S. (Eds.). (2011). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (Version 5.1.0). The Cochrane Collaboration.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag.
- Jach, T., Magiera, E., & Froelich, W. (2015). Application of Hadoop to store and process big data gathered from an urban water distribution system. *Procedia Engineering*, 119, 1375–1380.
- Jagen, M., et al. (2023). An Internet of Things-Based Smart Water Meter with Machine Learning-Aided Water Quality Assessment. *IEEE AFRICON 2023*.
- Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112-133.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Wiley.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering (Technical Report EBSE-2007-01). Keele University and Durham University Joint Report.

- Kumar, S., et al. (2020). IoT applications in smart cities. *Journal of Cleaner Production*.
- Kumar, S., et al. (2021). IoT applications in smart cities. *Journal of Cleaner Production*.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
- Li, M., Zhang, H., & Zhao, J. (2022). Real-time water loss detection in smart water networks using wireless sensor networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(12), 04022078.
- Li, X., et al. (2020). IoT applications in smart cities. *Journal of Cleaner Production*.
- Li, Y., Chen, X., & Sun, J. (2023). Advances in wireless sensor networks for smart water management: A review. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 1234.
- Lieggio Junior, R. A., Granemann, S., & Souza, R. T. (2012). Aplicação da análise multicritérios para suporte à decisão. *Gestão & Produção*, 19(3), 547-562.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of computer and communications*, 3(5), 164-173.
- Maia, M. C. (2020). Garantindo a confiabilidade e validade em instrumentos de pesquisa. *Jornal de Pesquisa e Metodologia*, 18(4), 89-105.
- Manzato, G. G., & Santos, A. C. (2012). Desenvolvimento e validação de instrumentos para coleta de dados em pesquisa científica. *Revista de Metodologia Científica*, 10(3), 12-25.
- Marcondes, C. A., & Brisola, E. C. (2014). A triangulação como técnica de validação em pesquisa qualitativa: Estudo com mães e bebês prematuros. *Cadernos de Saúde Pública*, 30(3), 533-542.
- Marconi, M. de A., & Lakatos, E. M. (1990). *Fundamentos de metodologia científica* (4ª ed.). Atlas.
- Marconi, M. de A., & Lakatos, E. M. (2003). *Metodologia do trabalho científico*. Atlas.
- McKinsey & Company. (2021). Unlocking success in digital transformations.
- Mishra, P., Alaba, F., Sacomano, J., & Kumar, R. (2022). Digital transformation and IoT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods* (4th ed.). Sage Publications.

- Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). *Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide*. Blackwell Publishing.
- Pollock, A., & Berge, E. (2018). Developing and refining systematic review protocols. In A. Booth, A. Sutton, & D. Papaioannou (Eds.), *Systematic Approaches to a Successful Literature Review* (2nd ed., pp. 43-58). Sage Publications.
- Ren, L., Liang, L., & Chan, F. T. S. (2017). Multi-criteria decision making methods for manufacturing system improvement: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 389-410.
- Rizk, A. (2023). A Blockchain-based Secure Data Collection Mechanism for Smart Water Meters. *IEEE Access*.
- Sacomano, J., et al. (2018). Project management in Industry 4.0. *International Journal of Project Management*.
- Schwab, K. (2020). *A Quarta Revolução Industrial*. Edipro.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423.
- Silva, A. P. da. (2014). Pesquisa qualitativa: conceitos e aplicações. *Revista de Ciências Sociais*, 12(2), 45-60.
- Silva, R. M., Oliveira, T. M., & Fernandes, A. (2018). Estatística aplicada à pesquisa: Uma abordagem prática. Editora Universitária.
- Souza, E., & Dieng, A. (2018). Integração de métodos qualitativos e quantitativos: Aplicações em pesquisas em educação. *Revista de Pesquisa em Educação*, 24(2), 65-82.
- Stake, R. E. (1995). *The Art of Case Study Research*. SAGE Publications.
- Sung, T. K. (2021). The evolution of the Internet of Things: Applications and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*.
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157–169.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2010). *SAGE handbook of mixed methods in social & behavioral research* (2nd ed.). SAGE Publications.

- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222.
- Ul Hasan, M. S., Rai, A. K., Momin, A. H., Khan, M. A., Alfaisal, F. M., Alam, S., ... & Majdi, A. (2025). Multi-dimensional scaling for space-time transformation to achieve sustainable planning and management of water resource under changing land use pattern. *Scientific Reports*, 15(1), 1129.
- Verma, A., & Agrawal, R. (2021). IoT-based water management systems: Challenges and opportunities. *Water Science*.
- Wang, Y., Kung, L., & Byrd, T. A. (2021). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3–13.
- Xu, L., et al. (2020). Industry 4.0 and smart manufacturing. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*.
- Xu, L., et al. (2022). DataOps: industrial applications and digital transformation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage Publications.
- Zhang, Q., et al. (2021). Challenges and opportunities in digital transformation. *Computers & Industrial Engineering*.
- Zhang, T., Wu, L., & Gao, Y. (2022). Remote sensing and data transmission in wireless sensor networks for environmental monitoring. *Sensors*, 22(7), 2650.
- Zhang, Z., Gu, X., Gu, C., & Zhang, J. (2011). An entropy weight TOPSIS method for evaluating the performance of urban public transport. *Procedia Engineering*, 15, 2739–2743.

APÊNDICE A –TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos o(a) Sr(a) para participar da pesquisa intitulada "**Internet das Coisas (IoT) da Indústria 4.0: Oportunidades e Desafios em Implementação de Projetos de Hidrômetros Inteligentes**", sob responsabilidade do pesquisador André Leite Henriques, cujo objetivo é elaborar a dissertação baseada na análise da literatura relacionada ao tema e nas entrevistas realizadas, com a finalidade de compreender os desafios e oportunidades na implementação de projetos de hidrômetros inteligentes no contexto da Indústria 4.0.

Esta dissertação é requisito para a conclusão do Programa de Pós-graduação em Gestão de Projetos (PPGP) da Universidade Nove de Julho – UNINOVE. Sua participação é voluntária e consistirá em uma entrevista, que poderá ser presencial ou virtual, com perguntas abertas para registrar suas experiências, percepções e opiniões sobre o tema. A entrevista terá duração estimada entre 45 minutos e 1 hora.

Os riscos envolvidos são inexistentes ou mínimos, pois sua participação consiste apenas em responder verbalmente às perguntas. Para preservar sua privacidade e segurança, todas as informações fornecidas, assim como sua identidade e a de sua organização, serão mantidas em absoluto sigilo e não serão divulgadas em nenhuma publicação ou relatório.

É importante destacar que sua contribuição é fundamental para ampliar o conhecimento sobre a implementação de hidrômetros inteligentes, podendo auxiliar na melhoria dos processos e práticas do setor.

Caso deseje, poderá desistir de participar a qualquer momento, sem necessidade de justificar e sem prejuízo algum. Sua participação não acarretará despesas e não haverá remuneração.

Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, porém sua identidade será preservada. Para quaisquer esclarecimentos, o(a) senhor(a) poderá entrar em contato com o pesquisador pelo telefone (11) 99946-8056.

Consentimento Pós-Informação

Eu, _____, fui informado(a) sobre os objetivos da pesquisa e a importância da minha colaboração, e compreendi todas as informações fornecidas. Por isso, concordo em participar voluntariamente deste projeto, sabendo que não receberei qualquer remuneração e que posso desistir a qualquer momento sem qualquer penalização.

Este documento é emitido em duas vias, assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada parte.

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura do(a) participante: _____

Assinatura do pesquisador: _____

APÊNDICE B – PROTOCOLO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS

I) Instruções para o entrevistador

O objetivo das entrevistas em profundidade é obter informações detalhadas sobre as percepções, desafios, oportunidades e práticas relacionadas à implementação de soluções de Internet das Coisas (IoT) no setor de saneamento básico. O entrevistador deve conduzir a conversa de forma aberta, buscando captar experiências reais, exemplos e opiniões fundamentadas dos participantes.

A entrevista visa a compreender como as organizações enfrentam aspectos como infraestrutura, custos, segurança, cultura organizacional e eficiência operacional na adoção da IoT. Recomenda-se a gravação da entrevista, com consentimento prévio do participante, para garantir fidelidade na análise.

Pesquisador: André Leite Henriques

Professor Orientador: Prof. Dr. Walter Satyro

1 II) Condições da entrevista

- **Perfil do entrevistado:**

Nome: _____

Cargo/Função: _____

Experiência em IoT ou saneamento: _____

Data da entrevista: __/__/__

Local (presencial/virtual): _____

Duração prevista: 45 a 60 minutos

- **Período da coleta:** julho a outubro de 2025
- **Formato:** Entrevistas individuais, presenciais ou remotas, preferencialmente gravadas
- **Objetivo:** Compreender percepções, desafios e oportunidades na implementação de IoT no saneamento básico

APÊNDICE C – ROTEIRO DE ENTREVISTAS

Introdução ao entrevistado

Você foi selecionado(a) para participar desta entrevista por sua atuação no setor de saneamento básico e/ou experiência com tecnologias IoT aplicadas a este contexto. Esta pesquisa tem como objetivo identificar desafios, oportunidades e práticas relacionadas à implementação de soluções de Internet das Coisas no saneamento básico. Sua participação é voluntária e muito importante para o avanço do conhecimento nesta área.

Com sua autorização, desejamos gravar a entrevista para auxiliar na análise. Você poderá solicitar a qualquer momento a interrupção da gravação ou da entrevista. Todos os dados, nomes e informações fornecidas serão tratados com confidencialidade e anonimato.

Após a transcrição, enviaremos a você o texto para validação e complementação, se desejar.

Categoria	Perguntas-chave	Referências principais
Infraestrutura Robusta	Como sua organização lida com a modernização e integração dos sistemas legados ao implementar soluções IoT?	Zhang et al. (2021); Alaba et al. (2022); Xu et al. (2020)
Custo Inicial Elevado	Quais são as principais dificuldades relacionadas aos investimentos iniciais em IoT e automação?	Mishra et al. (2022); Verma & Agrawal (2021); Adams & Jokonya (2022)
Segurança Cibernética e Privacidade	Quais riscos e preocupações de segurança são enfrentados ao conectar sistemas IoT? Como é tratado o tema da privacidade?	Alaba et al. (2022); Lee et al. (2015); Rizk (2023)
Capacitação e Cultura Organizacional	Como a capacitação técnica e a cultura organizacional influenciam o sucesso da implantação de IoT?	McKinsey (2021); Verma & Agrawal (2021); Kumar et al. (2021)
Eficiência Operacional	Quais melhorias em eficiência, manutenção preditiva e previsão de demandas a IoT proporcionou?	Li et al. (2020); Zhang et al. (2021); Wang et al. (2021); Jagen et al. (2023)
Casos de Sucesso	Poderia compartilhar exemplos de sucesso na adoção de IoT para saneamento e gestão hídrica?	Verma & Agrawal (2021); Lee et al. (2015); Tao et al. (2018); Schwab (2020)
Monitoramento de Qualidade da Água	Como sensores IoT são utilizados para monitorar parâmetros de qualidade da água, como pH e turbidez?	Aksu & Ozdemir (2021); Li et al. (2020)

Categoria	Perguntas-chave	Referências principais
Deteção de Vazamentos	De que forma a IoT ajuda na identificação precoce de vazamentos e redução de perdas?	Misra et al. (2022); Lee et al. (2015)
Otimização de Consumo	Como os medidores inteligentes impactam o consumo consciente e a gestão dos recursos hídricos?	Zhang et al. (2021); Kumar et al. (2021)
Manutenção Preditiva	Como a análise dos dados dos sensores auxilia na previsão de falhas e planejamento da manutenção?	Jagen et al. (2023); Adams & Jokonya (2022)
Gestão de Recursos Hídricos	De que maneira a IoT possibilita uma gestão integrada e eficiente dos recursos hídricos?	Schwab (2020); Verma & Agrawal (2021)
Tomada de Decisão Baseada em Dados	Como os dados coletados são utilizados para decisões estratégicas em saneamento?	Tao et al. (2018)

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO

Projeto: Internet das Coisas (IoT) da Indústria 4.0: Oportunidades e Desafios em Implementação de Projetos de Hidrômetros Inteligentes

Pesquisador: André Leite Henriques

Programa: Pós-graduação em Gestão de Projetos – UNINOVE

Informações iniciais do entrevistado:

1. Nome;
2. Cargo/Função;
3. Empresa/Instituição;
4. Número de funcionários na empresa;
até 9 (), de 10 a 49 (), de 50 a 249 (), 250 ou mais ()
5. Empresa: () Nacional, () Multinacional;
6. Tempo de Experiência Profissional;
7. Indústria 4.0: tenho conhecimento (), não tenho conhecimento ();
8. Internet das Coisas IoT: tenho conhecimento (), não tenho conhecimento ();

Roteiro de Perguntas

Agradeço por participar desse projeto de pesquisa de dissertação de mestrado.

Não há respostas certas ou erradas, o importante é a sua opinião sincera.

Todas as respostas têm a garantia de total confidencialidade.

O tempo de resposta estimado é de 8 minutos.

A. Categoria: Infraestrutura Robusta

Em uma escala de expressão linguística, em que

DT - representa Discordo Totalmente,

D - Discordo,

R – Regular (Nem Discordo, nem Concordo),

C – Concordo (C), e

CT - Concordo Totalmente (CT), analise as assertivas abaixo:

1. A minha organização possui infraestrutura adequada para integrar sistemas legados com novas soluções IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

2. Em minha empresa há facilidade para modernizar e integrar sistemas legados com IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

B. Categoria: Custo Inicial Elevado

3. Os custos iniciais para implementar IoT e automação são uma barreira para o projeto.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

4. O investimento inicial impacta na decisão de adotar IoT em sua organização.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

C. Categoria: Segurança Cibernética e Privacidade

5. Os riscos de segurança cibernética são bem gerenciados na implementação de IoT na minha empresa.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

6. A minha empresa se preocupa com a privacidade dos dados coletados pelos dispositivos IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

D. Categoria: Capacitação e Cultura Organizacional

7. A capacitação técnica oferecida pela minha empresa é suficiente para suportar a implementação de IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

8. A cultura organizacional é importante para a adoção de tecnologias inovadoras como IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

E. Categoria: Eficiência Operacional

9. A eficiência operacional melhora devido à implementação de IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

10. A implementação de IoT melhora a manutenção preditiva.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

11. A implementação de IoT melhora a previsão de demandas.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

F. Categoria: Casos de Sucesso

12. Minha empresa já implementou casos de sucesso relacionados à IoT no saneamento.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

13. Casos de sucesso motivam a equipe.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

Categoria: Monitoramento de Qualidade da Água

14. Minha empresa utiliza sensores IoT para monitorar a qualidade da água (pH, turbidez, etc.).

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

15. Estes sensores garantem a qualidade da água de forma eficiente.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

G. Categoria: Detecção de Vazamentos

16. Os dispositivos IoT contribuem para a detecção precoce de vazamentos na sua organização.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

17. Os hidrômetros inteligentes colaboram com as reduções/perdas de vazamentos.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

H. Categoria: Otimização de Consumo

18. Os medidores inteligentes influenciam o consumo consciente.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

19. Os medidores inteligentes influenciam a gestão dos recursos hídricos.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

20. Houve impacto positivo percebido na otimização do consumo de água devido ao uso de IoT.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

I. Categoria: Manutenção Preditiva

21. A análise dos dados dos sensores auxilia na previsão de falhas e no planejamento da manutenção.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

22. A eficiência da manutenção preditiva melhora com o hidrômetro inteligente.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

J. Categoria: Gestão de Recursos Hídricos

23. O hidrômetro inteligente permite uma gestão mais integrada e eficiente dos recursos hídricos na sua organização.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

24. O hidrômetro inteligente contribuiu positivamente para a gestão eficiente dos recursos hídricos.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

K. Categoria: Tomada de Decisão Baseada em Dados

25. Os dados coletados pelos sistemas IoT são efetivamente utilizados para decisões estratégicas.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT

26. É importante a qualidade dos dados para suportar a tomada de decisão.

☐ DT ☐ D ☐ R ☐ C ☐ CT