



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS – IFAM  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
CURSO TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

**HEVERTON SOUZA DA SILVA**

**TELEMETRIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA DE SISTEMA  
DE MONITORAMENTO DE ÁGUA EM LINHA DE PRODUÇÃO USANDO IOT**

**MANAUS/AM  
2024**

**HEVERTON SOUZA DA SILVA**

**TELEMETRIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA DE SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÁGUA EM LINHA DE PRODUÇÃO USANDO IOT**

Trabalho de Conclusão de curso submetido ao curso de graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

**MANAUS/AM  
2024**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586t	<p>Silva, Heverton Souza da. Telemetria de processos industriais: uma proposta de sistema de monitoramento de água em linha de produção usando IoT / Heverton Souza da Silva. — Manaus, 2024. 38f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2024. Orientador: Prof.<sup>o</sup> Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Telemetria. 2. IoT. 3. Monitoramento de água. 4. Sustentabilidade. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621.382</p>
-------	---

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

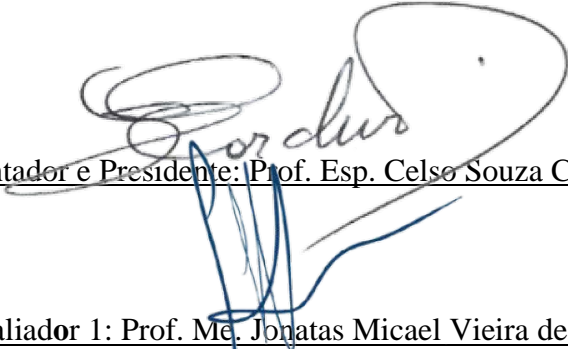
**HEVERTON SOUZA DA SILVA**

**Telemetria de processos industriais: uma proposta de sistema de monitoramento de água em linha de produção usando IoT**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

Aprovado em 18 de dezembro de 2024.

  
Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

Avaliador 1: Prof. M<sup>c</sup>. Jonatas Micael Vieira de Lima

  
Avaliador 2: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro

*Dedico com sublime carinho aos  
que sonharam intensamente com isso a  
minha família, aos meus pais, aos meus  
amigos e colegas a faculdade e  
principalmente, pois sem a ajuda deles  
isso não seria possível.*

## **AGRADECIMENTOS**

Eu sempre gostei de realizar minhas atividades sozinho, mas existem situações na vida em que sem o apoio e a colaboração de outras pessoas seria impossível concluí-las.

Quando pensei em fazer esse projeto de pesquisa, contei com o apoio de várias pessoas que me acompanharam nessa jornada. E a essas pessoas através de poucas palavras, procurei expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao nosso DEUS que tem me acompanhado em todos os momentos minha vida;

Aos meus professores que foram responsáveis em viabilizar esse meu projeto, bem como aos meus colegas que me ofereceram a oportunidade e o desafio em participar desta turma;

À minha família, pelo seu apoio, paciência e compreensão da minha dedicação no acompanhamento do curso e no desenvolvimento desse trabalho, além das contribuições e participações todos que ajudaram na realização desse sonho.

*“O homem não teria alcançado o possível se,  
repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”  
(Max Weber)*

## **Resumo**

A telemetria e a Internet das Coisas (IoT) têm revolucionado processos industriais, possibilitando a coleta e análise de dados em tempo real para otimizar a gestão de recursos hídricos em linhas de produção. Este trabalho propõe um sistema automatizado para monitoramento de água, utilizando dispositivos IoT e sensores de baixo custo capazes de medir variáveis como pressão, vazão e qualidade da água. A metodologia inclui revisão bibliográfica, definição da arquitetura do sistema, desenvolvimento de hardware e software, avaliação de viabilidade e validação experimental em ambiente real. O sistema visa integrar sensores a plataformas digitais para a transmissão e análise de dados, promovendo eficiência operacional, redução de desperdícios e sustentabilidade, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6. A solução destaca-se por sua acessibilidade econômica e impacto ambiental positivo, sendo uma alternativa robusta e inovadora para o monitoramento hídrico industrial.

**Palavras-chave:** Telemetria, IoT, Monitoramento de Água, Sustentabilidade, Indústria 4.0.

## **ABSTRACT**

*Telemetry and the Internet of Things (IoT) have revolutionized industrial processes by enabling real-time data collection and analysis to optimize water resource management in production lines. This study proposes an automated system for water monitoring, utilizing IoT devices and low-cost sensors capable of measuring variables such as pressure, flow rate, and water quality. The methodology includes a literature review, system architecture definition, hardware and software development, feasibility evaluation, and experimental validation in a real-world environment. The system aims to integrate sensors with digital platforms for data transmission and analysis, promoting operational efficiency, waste reduction, and sustainability, in alignment with Sustainable Development Goal (SDG) 6. The solution stands out for its economic accessibility and positive environmental impact, offering a robust and innovative alternative for industrial water monitoring.*

**Keywords:** *Telemetry, IoT, Water Monitoring, Sustainability, Industry 4.0.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formula da vazão usando velocidade.....	19
Figura 2 - ilustra o princípio básico de funcionamento deste tipo de medidor. ....	21
Figura 3 - Medidor de vazão eletromagnética.....	25
Figura 4 - Fluxo de ligação do sensor ao computador .....	26
Figura 5 - Local de instalação de medidores .....	27
Figura 6 - Monitoramento através do smartphone .....	28
Figura 7 - Estação de pitométrica.....	30
Figura 8 - Ilustração de calibração Pitométrica.....	31
Figura 9- Fluxo de montagem do circuito .....	32
Figura 10 - Montagem do Circuito Elétrico .....	33
Figura 11 - Visão geral de instalação .....	34
Figura 12 - Cronograma de instalação de medidores de vazão.....	35

## **LISTA DE SIGLAS**

A/D - Conversor Analógico Digital

ABP - Activation By Personalization

ANA - Agência Nacional de Águas

AppSKey - App Session Key

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

D/A - Conversor Digital Analógico

I2C - Inter-Integrated Circuit

IoT - Internet of Things

IQA - Índice de Qualidade das Águas

LED - Light-Emitting Diode

LoRa - Long Range

LoRaWAN Long Range Wide Area Network

LPWAN - Low Power Wide Area Network

MIC - Message Integrity Code

MQTT - Message Queuing Telemetry Transport

NFC - Near Field Communication

NTC - Negative temperature coefficient

NTU - Nephelometric Turbidity Units

OD - Oxigênio Dissolvido

OTAA - Over The Air Activation

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNQA - Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas

PTC - Positive temperature coefficient

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. Justificativa.....	14
3. Objetivos .....	15
3.1 Geral .....	15
3.2 Específicos.....	15
4. PROBLEMA .....	15
5. METODOLOGIA .....	16
6. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
6.1 . VAZÃO E MEDIDA.....	18
6.2 . MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO.....	20
6.3 . A IMPORTÂNCIA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM SISTEMAS HIDRÁULICOS E INDUSTRIAIS .....	21
7. INTERNET DAS COISAS .....	22
7.1. TELEMETRIA E IoT NA INDÚSTRIA: BENEFÍCIOS E APLICAÇÕES .....	23
7.2. DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES .....	23
7.3. BENEFÍCIOS DA TELEMETRIA E IoT NA INDÚSTRIA.....	23
7.4. SISTEMA DE TELEMETRIA PARA ÁGUA .....	24
8. SISTEMA DE TELEMETRIA ACQUAFLUX.....	25
8.1 Material utilizado.....	27
8.2. Sistema de Medição de Vazão.....	29
8.3. Montagem do conversor SR-232 Bluetooth .....	32
9. <i>Resultados Encontrados</i> .....	35
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	37
11. Projetos Futuros.....	37
REFERÊNCIAS .....	39

# 1. INTRODUÇÃO

A telemetria e a Internet das Coisas (IoT) têm revolucionado os processos industriais, permitindo a integração de dispositivos físicos ao ambiente digital. Essa convergência tecnológica possibilita o monitoramento em tempo real de sistemas, a coleta e análise de dados de maneira eficiente, além de promover a automação e a otimização de processos industriais complexos (SOUZA et al., 2021). Uma aplicação significativa dessas tecnologias é o monitoramento e a gestão de recursos hídricos em linhas de produção, um tema especialmente relevante diante dos desafios relacionados à sustentabilidade e eficiência no uso da água.

A água desempenha um papel essencial em diversas atividades humanas e industriais, sendo imprescindível o controle rigoroso de sua qualidade e consumo. Contudo, sistemas tradicionais de monitoramento enfrentam limitações significativas, como altos custos operacionais, complexidade de implementação e lacunas na detecção de falhas, como vazamentos (SANTOS. OLIVEIRA, 2014). Nesse contexto, a utilização de dispositivos IoT emerge como uma solução viável e de baixo custo para aprimorar a gestão de recursos hídricos. Equipamentos integrados com sensores especializados permitem a coleta de dados em tempo real, facilitando a detecção precoce de problemas e otimizando o uso da água em processos industriais (SILVA, 2013; GARIBALDE, 2016).

O presente trabalho propõe um sistema de monitoramento de água em linhas de produção, baseado em IoT, utilizando dispositivos de fácil acesso e tecnologias emergentes, como redes de comunicação de baixo consumo de energia (LPWAN) e protocolos de comunicação padronizados. O sistema visa integrar sensores para medir variáveis como pressão, umidade e vazão, transmitindo os dados para plataformas em nuvem, onde são processados e analisados para o monitoramento remoto (BENTO, 2016). Essa abordagem não só promove a eficiência operacional, mas também converge com iniciativas globais, como o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, que busca garantir o acesso à água potável e ao saneamento para todos (CLIMATE CHAMPIONS, 2023).

Além de endereçar questões técnicas e econômicas, a proposta contribui para a preservação ambiental e a gestão sustentável dos recursos hídricos. A integração da IoT com telemetria em estações de tratamento e distribuição de água tem potencial de revolucionar o setor industrial, oferecendo soluções robustas e acessíveis para problemas como desperdício de água e detecção de falhas. Assim, este estudo reforça a importância de adotar tecnologias inovadoras para

transformar processos industriais e alcançar um equilíbrio entre eficiência operacional e sustentabilidade.

Por meio da análise de casos práticos e de tecnologias existentes, este trabalho pretende demonstrar a viabilidade de implementar sistemas IoT em linhas de produção, promovendo não apenas economia de recursos, mas também uma gestão mais inteligente e conectada dos processos industriais.

## **2. Justificativa**

A necessidade de tornar os processos industriais mais eficientes e sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o monitoramento e a gestão de recursos naturais. A água, essencial para a vida e para diversas atividades produtivas, enfrenta desafios como o desperdício, a contaminação e a dificuldade de controle em linhas de produção. Por isso, é crucial investir em soluções tecnológicas que garantam a sua gestão eficiente e o uso sustentável.

O uso de tecnologias baseadas na Internet das Coisas (IoT) e telemetria representa uma alternativa moderna e eficaz para atender a essas demandas. Esses sistemas permitem a integração de sensores e dispositivos em plataformas digitais, possibilitando a coleta, transmissão e análise de dados em tempo real. Isso torna possível monitorar de maneira contínua parâmetros importantes da água, como vazão, qualidade e possíveis vazamentos, superando as limitações de métodos tradicionais que são caros, imprecisos e dependentes de inspeções manuais.

Além disso, a adoção de soluções IoT para o monitoramento hídrico contribui para reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência dos processos industriais. Tecnologias de baixo custo e fácil acesso viabilizam a implementação em diferentes escalas, inclusive em pequenos e médios empreendimentos. Isso democratiza o acesso à automação avançada e promove maior sustentabilidade na gestão dos recursos.

Por fim, o desenvolvimento de um sistema automatizado de monitoramento de água alinha-se à necessidade de otimizar recursos em um cenário de escassez e de crescente conscientização ambiental. Essa proposta não só apoia a modernização do setor industrial, como também reforça o compromisso com a preservação ambiental, promovendo uma gestão responsável e eficiente da água. Assim, a justificativa para esse projeto reside em seu potencial de gerar impacto positivo em aspectos econômicos, sociais e ambientais.

## **3. Objetivos**

### **3.1 Geral**

Desenvolver um sistema automatizado de monitoramento de água em linhas de produção industrial, utilizando tecnologias baseadas em telemetria e Internet das Coisas (IoT).

### **3.2 Específicos**

Os objetivos específicos incluem:

1. Identificar e analisar arquiteturas funcionais de hardware e software adequadas para o monitoramento contínuo de água, integrando sensores e dispositivos IoT.
2. Realizar uma revisão da literatura científica para identificar modelos de telemetria aplicáveis ao monitoramento de água, com foco na utilização de sensores de baixo custo capazes de medir parâmetros como vazão, pressão e qualidade da água em tempo real.
3. Desenvolver uma interface de monitoramento que permita a visualização em tempo real dos dados coletados, incluindo alertas de anomalias e relatórios gerenciais.
4. Avaliar a viabilidade econômica e ambiental da solução proposta, considerando seu potencial de aplicação em diferentes contextos industriais.
5. Validar o sistema proposto em um ambiente real de linha de produção, analisando seu impacto na eficiência operacional e na redução de desperdícios.

## **4. PROBLEMA**

O desperdício de água em processos industriais, aliado à falta de sistemas eficientes e acessíveis para seu monitoramento em tempo real, representa um obstáculo crítico à sustentabilidade e à eficiência produtiva. Métodos tradicionais, como inspeções manuais e o uso de equipamentos de alto custo, são frequentemente ineficazes ou inviáveis para muitas empresas, dificultando a identificação de anomalias e o controle do consumo de água. Nesse contexto, torna-se indispensável o desenvolvimento de soluções inovadoras que combinem tecnologias de baixo custo e alto desempenho, possibilitando o gerenciamento eficiente desse recurso vital.

### **4.1 Pergunta Problematizadora**

Como um sistema baseado em telemetria e IoT pode ser projetado para monitorar a utilização de água em linhas de produção industrial de maneira eficiente, econômica e em tempo real, promovendo a sustentabilidade e a redução de desperdícios?

## **5. METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste estudo é estruturada em etapas que englobam desde a revisão bibliográfica inicial até a validação prática do sistema em ambiente industrial. Cada fase está diretamente alinhada aos objetivos propostos e busca garantir que o desenvolvimento e implementação do sistema de monitoramento de água sejam realizados de forma sistemática, fundamentada e eficiente.

### **5.1. Revisão da Literatura**

O primeiro passo consiste em realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre tecnologias de telemetria e Internet das Coisas (IoT) aplicadas ao monitoramento de recursos hídricos. A busca será conduzida em bases de dados acadêmicas renomadas, como Google Acadêmico, SciELO, IEEE Xplore e outras, com o objetivo de identificar arquiteturas de hardware e software, além de modelos de sistemas de telemetria com sensores de baixo custo. A revisão será guiada por critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, permitindo delimitar os conteúdos mais relevantes e estabelecer uma base teórica sólida para o projeto.

### **5.2. Definição da Arquitetura do Sistema**

Com base na revisão teórica, será projetada a arquitetura funcional do sistema, incluindo a seleção de sensores e dispositivos IoT adequados para o monitoramento contínuo de parâmetros como vazão, pressão e qualidade da água. Essa etapa envolve a análise de alternativas de hardware e software, considerando aspectos como custo, precisão e compatibilidade com ambientes industriais.

### **5.3. Desenvolvimento do Sistema**

O desenvolvimento do sistema será realizado em duas frentes principais:

**Hardware:** Integração de sensores de baixo custo e dispositivos IoT para a coleta e transmissão de dados em tempo real.

**Software:** Criação de uma interface de monitoramento que permita a visualização dos dados coletados, alertas para anomalias e geração de relatórios gerenciais. A interface será desenvolvida utilizando tecnologias acessíveis e com foco na usabilidade.

### **5.4. Avaliação de Viabilidade**

A solução proposta será avaliada sob os aspectos econômico e ambiental, considerando sua aplicabilidade em diferentes contextos industriais. Serão analisados os custos de implementação e manutenção, bem como os benefícios potenciais em termos de redução de desperdícios e sustentabilidade.

### **5.5. Validação Experimental**

O sistema desenvolvido será validado em um ambiente real de linha de produção industrial. Essa etapa inclui a instalação e testes operacionais para avaliar a eficácia do sistema em monitorar a utilização de água em tempo real, identificar anomalias e contribuir para a eficiência operacional. Os resultados obtidos serão analisados para verificar o impacto na redução de desperdícios e na gestão sustentável da água.

### **5.6. Base Metodológica**

Este estudo segue uma abordagem qualitativa, caracterizada por uma pesquisa transversal e exploratória. A metodologia científica adotada está fundamentada na análise crítica e na busca de relações entre fatos e fenômenos, conforme descrito por Garcia (2010, apud Galliano, 1986). O conhecimento gerado não apenas busca explicar os fenômenos observados, mas também relacioná-los com outros elementos, ampliando a compreensão do problema e das soluções viáveis.

A aplicação rigorosa dessas etapas garantirá a robustez e a aplicabilidade do sistema proposto, contribuindo significativamente para o avanço da gestão de recursos hídricos em processos industriais.

## **6. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, serão apresentados os principais aspectos relacionados ao desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, abordar-se-ão os conceitos teóricos fundamentais sobre a variável vazão, com destaque para diferentes princípios de medição. Em seguida, será explorada a integração com a Internet das Coisas (IoT), abrangendo seu funcionamento e potencial de aplicação. O estudo teórico sobre a medição de vazão com o uso de um medidor eletromagnético também será detalhado, assim como a instrumentação eletrônica necessária para o tratamento e processamento do sinal captado.

### **6.1 . VAZÃO E MEDIDA**

Nos processos industriais, a medição e o controle do fluxo de líquidos, gases e sólidos granulados desempenham um papel crucial, não apenas para fins contábeis, mas também para garantir o rendimento e a eficiência operacional.

O monitoramento e o controle de sistemas de distribuição de água, por exemplo, são frequentemente realizados com o auxílio de medidores de vazão eletromagnéticos, baseados na Lei da Indução Eletromagnética de Faraday, conforme descrito por Griffiths (1999). Esses dispositivos têm se mostrado indispensáveis para medir com precisão o volume de fluidos transportados.

Embora a medição de vazão seja uma prática consolidada no campo da engenharia, nos últimos anos ela tem ganhado uma nova relevância devido ao crescente consumo de recursos hídricos em regiões mais desenvolvidas. Esse aumento da atenção reflete a preocupação global com a preservação das reservas hídricas, essenciais para diferentes finalidades, incluindo o abastecimento público.

Na Região Metropolitana de Manaus, por exemplo, mesmo sendo cercada pelo maior rio em volume de água do mundo, muitos bairros periféricos ainda enfrentam problemas de abastecimento regular. Paralelamente, a demanda por água no Polo Industrial de Manaus (PIM) cresce de forma exponencial, aumentando a importância de cada metro cúbico utilizado.

Nesse contexto, torna-se imprescindível determinar com precisão a vazão de consumo de água, seja para dimensionar redes de distribuição, seja para estabelecer regras de operação. De maneira análoga, os processos industriais também dependem da medição precisa da vazão, mesmo que não estejam necessariamente conectados ao sistema público de abastecimento. Muitas indústrias utilizam poços que extraem água diretamente dos aquíferos da Bacia Amazônica, ressaltando a necessidade de práticas sustentáveis no uso desses recursos.

A vazão é definida como sendo a quantidade de fluido que passa por um elemento primário por unidade de tempo (MARTINS, 1998). Geralmente, a medição é feita aproveitando-se o efeito de uma interação entre o fluido e o medidor, sendo assim, as propriedades dos fluidos precisam ser conhecidas em detalhe (DELMÉE, 2003). Porém, como o foco do projeto de pesquisa não está na explicação de propriedades de fluido, elas serão apenas citadas quando necessário no decorrer.

Formula da Volumétrica:

$$Q = \frac{V}{t}$$

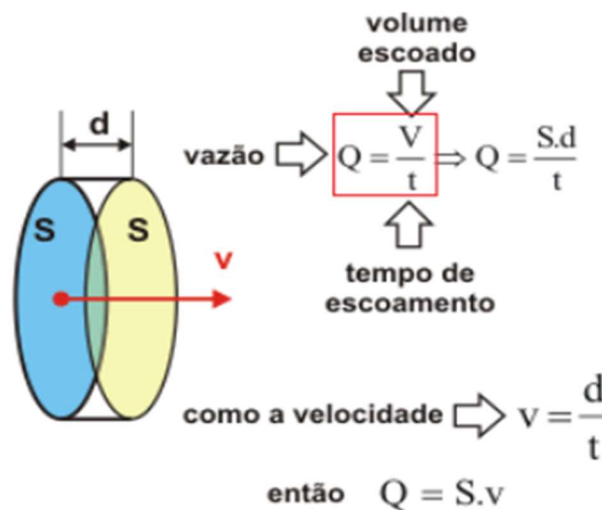
Formula da Gravimétrica:

$$Q = \frac{M}{t}$$

Onde, V = Volume, M = massa, t = tempo.

A vazão pode ser definida tanto por volume por quantidade de tempo quanto por massa por quantidade de tempo. A vazão volumétrica é medida em m<sup>3</sup>/s, e definida pela razão entre a vazão em massa, kg/s, e a massa específica de referência do fluido, kg/m<sup>3</sup>. Como a massa específica dos fluidos variam conforme pressão e temperatura, é necessário que a vazão volumétrica seja expressa com relação a uma massa específica de referência, na pressão e temperatura de referência (FRANÇA, 2003).

Figura 1 - Formula da vazão usando velocidade



Fonte: Imagem adaptada de França, 2003.

A vazão mássica é preferível expressar em termos de vazão em massa, apresentando a vantagem de que não é necessário definir nenhuma condição de referência, portanto não é necessário estimar a massa específica de referência (HAYWARD, 1979).

Os medidores de vazão eletromagnéticos possuem sensores não invasivos e são amplamente utilizados para medir diversos tipos de fluidos, incluindo ácidos, alcalinos e ionizados, desde que apresentem condutividade elétrica. Esses dispositivos operam eficientemente em condições

variadas, como fluidos limpos, sujos, corrosivos, erosivos, viscosos ou contendo suspensões. Entretanto, não são recomendados para a medição de hidrocarbonetos ou gases, devido à ausência de condutividade nesses materiais. Além disso, possuem a capacidade de medir fluxos bidirecionais, tanto a montante quanto a jusante (KE; SLATTERY, 2014).

Entre os diversos tipos de medidores de vazão disponíveis no mercado, o modelo eletromagnético destaca-se por sua ampla aplicação em indústrias e pela alta precisão alcançada, representando uma parcela significativa dos medidores em uso atualmente. Por suas características de versatilidade e confiabilidade, foi escolhido como foco principal desta pesquisa.

## 6.2 . MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO

Os medidores de vazão magnéticos fundamentam-se na Lei da Indução Eletromagnética de Faraday, que estabelece que uma força eletromotriz (fem) é gerada nas extremidades de um condutor em movimento dentro de um campo magnético. Essa força é proporcional à intensidade do campo magnético, ao comprimento do condutor e à velocidade de deslocamento (DELMÉE, 2003).

O medidor de vazão eletromagnético é composto por um tubo curto que direciona o fluido, sendo indispensável que a parede interna desse tubo seja feita de um material isolante, a fim de evitar curtos-circuitos entre os eletrodos de captação de sinal. No interior do tubo, dois eletrodos são posicionados paralelamente ao revestimento interno e separados por uma distância D, em metros. Um campo magnético com densidade de fluxo B, em Tesla, é aplicado perpendicularmente ao fluxo do fluido.

Quando o fluido, que possui condutividade elétrica, escoar com velocidade v, em m/s, através das linhas de campo magnético, uma força eletromotriz e, em volts, é induzida nos terminais dos eletrodos (SOISSON, 2002). A relação fundamental para o cálculo da fem é dada por:

$$e = B \cdot D \cdot v \quad (1)$$

A vazão volumétrica Q, em m<sup>3</sup>/s, pode ser expressa como:

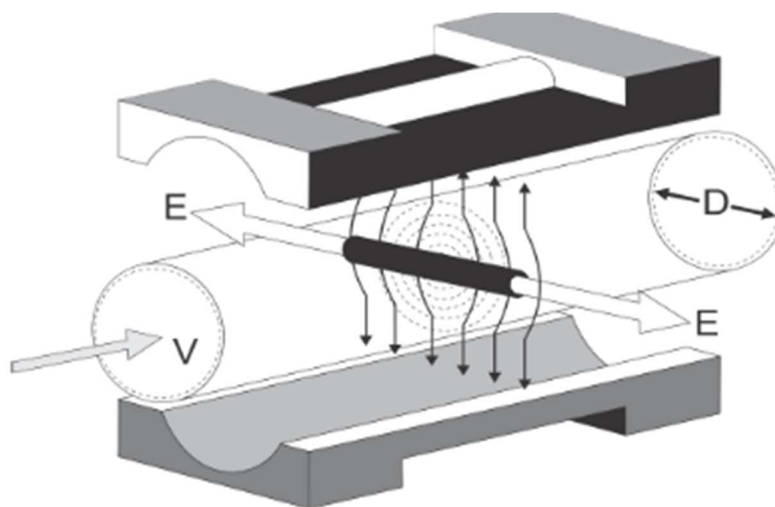
$$Q = \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot v \quad (2)$$

Substituindo a Equação (1) na Equação (2), obtém-se:

$$Q = \left( \frac{e \cdot (\pi/4) \cdot D}{B} \right) \quad (3)$$

Esse princípio de funcionamento exige que o fluido do processo seja condutor de eletricidade, o que restringe sua aplicação a fluidos condutivos e não magnéticos. Assim, medidores eletromagnéticos não são adequados para fluidos derivados de petróleo ou outros fluidos não condutivos (BEGA, 2011).

Figura 2 - ilustra o princípio básico de funcionamento deste tipo de medidor.



Fonte: Adaptado de Delmée (2003, p. 189).

Um campo magnético pode ser criado por ímãs permanentes ou por bobinas alimentadas com corrente elétrica. Em líquidos com baixa condutividade que estão expostos a um campo magnético constante, os eletrodos tendem a apresentar polarização. Para mitigar ou eliminar esse fenômeno, pode-se utilizar um campo alternado, conforme indicado por Soisson (2002). Embora ímãs permanentes sejam aplicados em certas situações, eles possuem algumas limitações, como a geração de sais isolantes nos eletrodos, o que faz com que o uso de bobinas seja mais frequente (Bega, 2011). No início, essas bobinas eram alimentadas diretamente pela corrente alternada da rede elétrica, que opera a 60 Hz. No entanto, essa abordagem resultava em um elevado consumo de energia.

Atualmente, a preferência recai sobre a utilização de corrente contínua pulsante a uma frequência baixa, normalmente de 6,25 Hz, o que diminui consideravelmente o consumo de energia e facilita a filtragem do sinal elétrico (Delmée, 2003)

### 6.3 . A IMPORTÂNCIA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM SISTEMAS HIDRÁULICOS E INDUSTRIAIS

Anteriormente, a medição de vazão desempenhava um papel essencialmente operacional, sendo utilizada na operação de sistemas hidráulicos para atividades como o abastecimento de redes de distribuição e a dosagem de produtos químicos. Entretanto, sua aplicação não exigia elevado rigor em termos de exatidão, que, nesse contexto, refere-se ao grau de concordância entre o valor medido e o valor verdadeiro da grandeza em questão.

Com os avanços tecnológicos e o surgimento de novas demandas industriais, a relevância da medição de vazão aumentou significativamente. Por exemplo, em plantas de tratamento de efluentes, o controle preciso das vazões de entrada e saída é fundamental para ajustar a dosagem

de produtos químicos, garantindo a eficiência do processo de purificação. Nesses casos, a exatidão da medição é indispensável para evitar desperdícios de insumos e reduzir riscos ao meio ambiente, assegurando o funcionamento ideal do sistema.

Esse aumento de relevância está associado à necessidade de contabilizar rigorosamente os fluxos hídricos, como preconizam práticas modernas de auditoria da água. Essas auditorias, que avaliam toda a água que entra e sai de um sistema, têm como objetivo verificar a eficiência operacional e identificar perdas, tanto de água quanto de receita. Para garantir resultados confiáveis, é essencial que as medições em todos os pontos de entrada e saída sejam realizadas com precisão.

A exatidão na medição de vazão também se torna crucial em situações de transferência de custódia, como na importação e exportação de água entre concessionárias de saneamento. Nessas operações, cada metro cúbico registrado representa um custo ou um ganho financeiro, o que torna imprescindível a confiabilidade do sistema de medição.

Além disso, a medição de vazão é um elemento central na automação de sistemas hidráulicos. Processos como a dosagem de produtos químicos e as manobras operacionais, que antes dependiam da experiência do operador, agora são controlados por medições em tempo real realizadas por instrumentos automáticos. Essas medições fornecem dados vitais para que os sistemas automatizados operem com eficiência e segurança, reduzindo a margem de erro humano e otimizando recursos.

Portanto, a medição de vazão evoluiu de um simples parâmetro operacional para um componente crítico no controle, na gestão e na automação de sistemas hidráulicos e industriais. Com os avanços tecnológicos e a crescente busca por eficiência e sustentabilidade, a exatidão dos medidores de vazão tornou-se indispensável, impactando diretamente o desempenho operacional e econômico dos sistemas.

## **7. INTERNET DAS COISAS**

O projeto de monitoramento de vazão de água em um processo de produção é fundamentado no conceito de Internet das Coisas (IoT), uma tecnologia que vem sendo amplamente utilizada na automação de processos industriais e que promete se disseminar ainda mais em diversas áreas da sociedade no futuro próximo. O conceito de IoT, juntamente com seus paradigmas e abordagens, serve como base para a estruturação e definição da presente proposta de pesquisa. A relevância da IoT é evidente no contexto atual, considerando que a internet tem sido integrada a um número crescente de dispositivos presentes no cotidiano. Décadas atrás, muitos desses dispositivos não eram sequer imaginados como passíveis de conexão à internet (Atzori et al.,

2010). Exemplos disso incluem relógios inteligentes (smartwatches), smartphones, televisores, eletrodomésticos, drones e sensores capazes de monitorar e transmitir dados em tempo real em diversos ambientes.

A IoT é caracterizada pela possibilidade de conectar objetos com funcionalidades distintas, criando uma rede de dispositivos interconectados. Em resumo, a Internet das Coisas representa a capacidade de conectar virtualmente qualquer objeto existente ou que venha a ser desenvolvido (Gubbi et al., 2013).

Esse conceito não apenas transforma a maneira como interagimos com os dispositivos, mas também desempenha um papel crucial em soluções inovadoras, como o monitoramento automatizado de vazão de água em sistemas produtivos, promovendo maior eficiência e controle em processos industriais.

### **7.1. TELEMETRIA E IoT NA INDÚSTRIA: BENEFÍCIOS E APLICAÇÕES**

A telemetria é uma tecnologia que permite a medição e transmissão remota de dados, transformando a maneira como as empresas monitoram e controlam processos em tempo real. Aliada à Internet das Coisas (IoT), a telemetria permite a integração de sistemas físicos com o mundo digital, otimizando operações e facilitando a tomada de decisões baseadas em dados precisos (MAIA, 2020).

### **7.2. DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES**

A telemetria, segundo Castro, Pacheco e Pinheiro (2023), é utilizada em setores como agricultura, logística, metrologia e tecnologia da informação. Seu funcionamento baseia-se no uso de sensores e sistemas que permitem a coleta e o envio de dados a locais remotos.

Na gestão de frotas, por exemplo, a telemetria é amplamente empregada para acompanhar o desempenho de veículos e motoristas, controlando variáveis como consumo de combustível, quilometragem rodada e períodos de trabalho. De acordo com Jesus (2021), o uso dessa tecnologia no agronegócio possibilita o monitoramento de fatores ambientais.

Além disso, setores como saneamento e energia têm adotado telemetria e IoT para gerenciar recursos de forma mais eficiente. A coleta de dados em tempo real permite identificar desperdícios, prever falhas e aumentar a segurança operacional (CASTRO et al., 2023).

### **7.3. BENEFÍCIOS DA TELEMETRIA E IoT NA INDÚSTRIA**

A adoção de telemetria e IoT gera uma série de benefícios para as empresas, principalmente pelo grande volume de dados disponíveis 24 horas por dia. Conforme Castro, Pacheco e Pinheiro (2023), os principais benefícios incluem:

1. Otimização das operações;
2. Redução de custos;
3. Arquivo de registros gráficos;
4. Planejamento estratégico de manutenções preventivas;
5. Prevenção de falhas;
6. Economia no consumo de água e energia.

De acordo com Maia (2020), essas tecnologias eliminam incertezas ao oferecer dados precisos que orientam a tomada de decisões. Assim, as empresas alcançam maior segurança operacional, além de identificarem oportunidades para aumentar a produtividade e reduzir desperdícios.

#### **7.4. SISTEMA DE TELEMETRIA PARA ÁGUA**

Uma aplicação importante da telemetria e IoT está nos sistemas de captação, abastecimento e tratamento de água. Esses sistemas podem ser monitorados remotamente por meio de sensores e softwares, permitindo a coleta de dados hidráulicos, elétricos e de qualidade da água. De acordo com Maia (2020), os parâmetros incluem:

Hidráulicos: nível estático (m), nível dinâmico (m), vazão ( $m^3/h$ ), volume acumulado ( $m^3$ ), nível nos reservatórios (%), pressão na tubulação (kgf/bar);

Elétricos: tensão (V), corrente elétrica (A), potência das bombas (W) e frequência dos motores (Hz);

Qualidade da água: pH, temperatura ( $^{\circ}C$ ) e condutividade elétrica ( $\mu S/cm^2$ ).

Os principais benefícios desse acompanhamento, conforme Maia (2020), são:

Previsão e planejamento de manutenções preventivas por meio da detecção de comportamentos anormais;

Otimização da eficiência hídrica e elétrica dos motores e bombas;

Identificação imediata de vazamentos ou interrupções de abastecimento, reduzindo desperdícios e falhas.

Além disso, sistemas avançados de IoT podem emitir alertas em tempo real via e-mail ou smartphones, facilitando a ação rápida dos gestores (JESUS, 2021).

Um exemplo prático é a possibilidade de analisar indicadores de eficiência hídrica em processos industriais. Por exemplo, é viável medir exatamente o consumo de água por linha de produção, como descobrir quantos litros são necessários para produzir um litro de leite. Segundo Maia (2020), a implementação desses sistemas pode reduzir o consumo de energia elétrica em até

30% e aumentar a eficiência hídrica em até 40%, sem substituir equipamentos como motores ou bombas.

A telemetria e a IoT são tecnologias fundamentais para o desenvolvimento diversos projetos de controle automação pois permitem a integração de equipamentos e processos físicos com o ambiente digital. Através dessas soluções, empresas de diversos setores podem monitorar e controlar processos em tempo real, otimizando operações, reduzindo custos e evitando desperdícios.

Além disso, a telemetria e a IoT oferecem maior precisão na tomada de decisões, impulsionando a eficiência operacional, a segurança e a sustentabilidade das empresas. Tecnologias como essas, portanto, abrem um caminho que fundamentam nossa pesquisa de sistema de monitoramento de água em ambientes industriais, pois garantir competitividade no cenário industrial se faz necessário saber controlar e gerenciar os recursos existentes.

## 8. SISTEMA DE TELEMETRIA ACQUAFLUX

Geralmente o monitoramento e controle do sistema de distribuição de água em ambientes industriais é comumente realizado com o auxílio de medidores de vazão eletromagnéticos, que tem como base a lei da indução eletromagnética de Faraday. Os medidores de vazão disponíveis no mercados são modelos comumente utilizados não possuem teclado frontal, a parametrização é realizada com o auxílio de um computador conectado ao conversor de fluxo pela interface RS-232, como ilustrado na Figura 3.

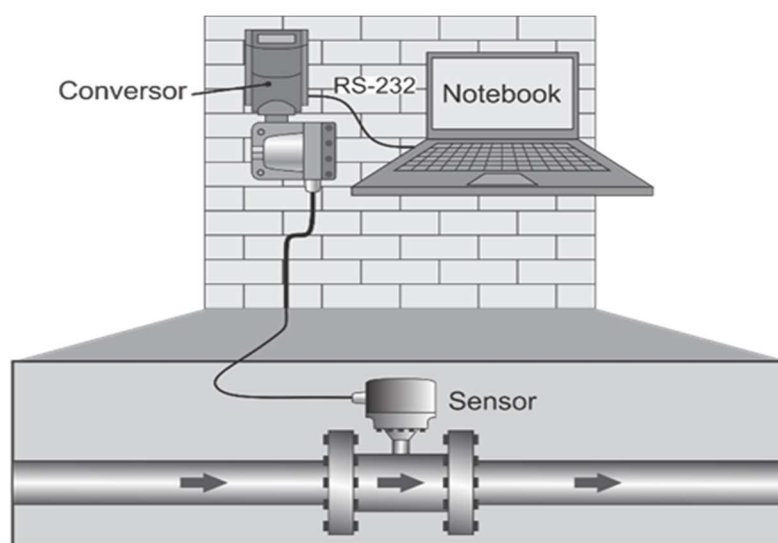
*Figura 3 - Medidor de vazão eletromagnética.*



Fonte: adaptado da internet.

Os sistemas de medição de vazão desempenham um papel fundamental no controle e monitoramento de sistemas de distribuição de água. Seu uso adequado possibilita a identificação de vazamentos, a detecção de desvios e a garantia de um faturamento preciso. Para assegurar a eficiência e confiabilidade desses sistemas, os medidores de vazão e seus conversores são submetidos regularmente a manutenções e processos de parametrização, visando otimizar seu desempenho e prolongar sua vida útil. Essas operações são realizadas com o auxílio de um Notebook, como ilustrado na Figura 4, exigindo que o operador esteja próximo ao conversor.

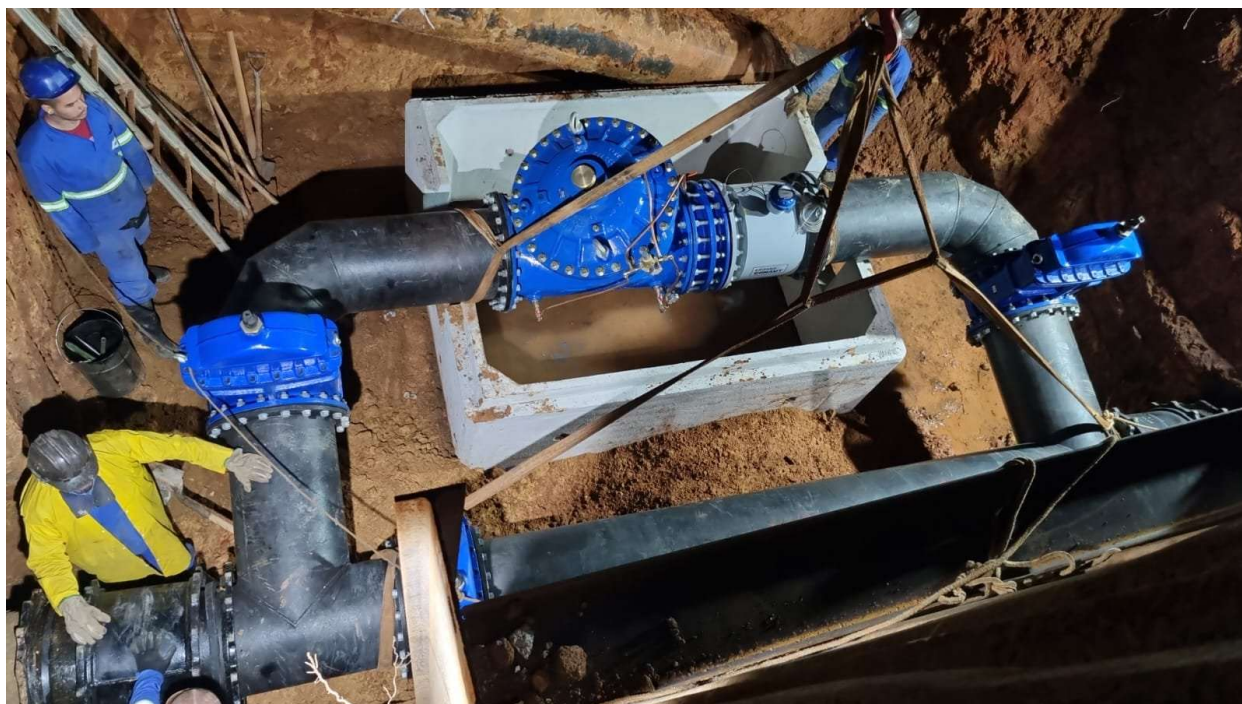
*Figura 4 - Fluxo de ligação do sensor ao computador*



Fonte: adaptador manual de instalação WaterFlux3000.

Para ilustrar um cenário real, é importante considerar que os medidores de vazão podem ser instalados em locais de difícil acesso, como margens de estradas, rios e córregos, ou em áreas insalubres dentro de indústrias, caracterizadas por altas temperaturas ou exposição a gases nocivos, conforme figura 5.

Figura 5 - Local de instalação de medidores



Fonte: Adaptado da internet.

Essas condições não apenas representam riscos significativos para os operadores envolvidos na manutenção, como também exigem cuidados adicionais para garantir a segurança do trabalho. Além disso, as empresas enfrentam o desafio logístico de equipar todas as equipes de manutenção com notebooks ou dispositivos equivalentes, sob o risco de comprometer o controle eficiente da produção e da distribuição de água ao longo do processo produtivo.

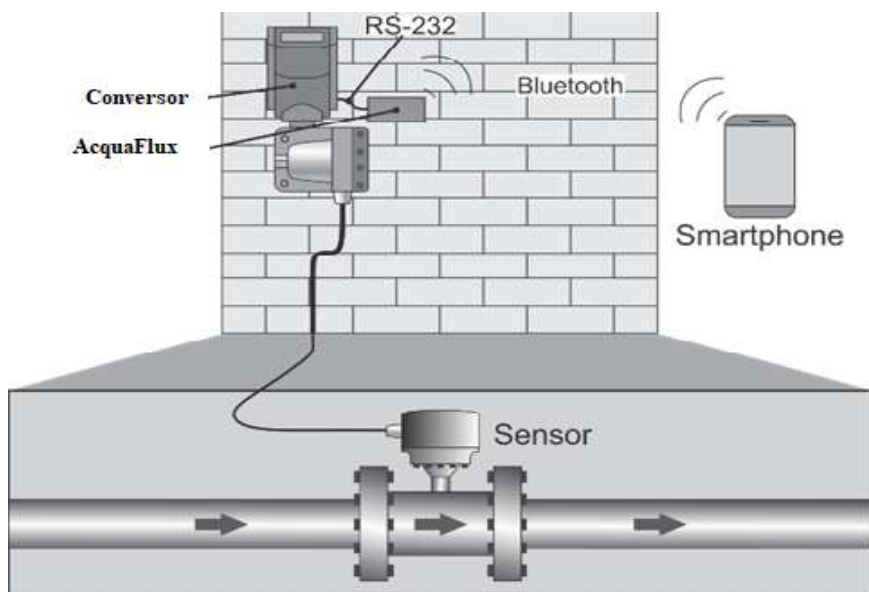
Para superar as dificuldades mencionadas, foi desenvolvida uma interface eletrônica que possibilita a parametrização do conversor de fluxo diretamente por meio de um aplicativo Android instalado em smartphones. Esse dispositivo, projetado com baixo custo, foi integrado aos conversores de fluxo, proporcionando diversas vantagens. Entre elas, destaca-se a redução significativa no tempo de configuração, eliminando a necessidade do uso de notebooks. Além disso, a solução torna a operação mais segura, permitindo que a equipe permaneça na estação pitométrica e realize a configuração do conversor remotamente durante o processo de calibração. Essa abordagem otimiza os recursos disponíveis e melhora a eficiência das operações em campo.

## 8.1 Material utilizado

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma interface eletrônica e de um aplicativo para smartphone, denominados Sensometer BT Monitor, que, juntos, formam um sistema integrado para modernizar a configuração e monitoramento de conversores de fluxo. A interface

eletrônica conecta-se ao conversor de fluxo utilizando a interface RS-232, conforme ilustrado na Figura 4, e realiza a conversão do sinal padrão serial para níveis de tensão TTL, possibilitando a comunicação com o módulo Bluetooth HC-05. Esse processo garante que o conversor de fluxo seja configurado remotamente por meio de um smartphone, (figuran6) no qual está instalado o aplicativo que pode ser baixado pelo Google App.

*Figura 6 - Monitoramento através do smartphone*



Fonte: Adaptado manual de instalação WaterFlux 3000.

O aplicativo desempenha a função de interface gráfica, permitindo o acesso em tempo real aos valores medidos de vazão e aos parâmetros de configuração necessários para a parametrização do sistema de medição. Entre suas funcionalidades, destaca-se a simplicidade de operação e a possibilidade de realizar ajustes precisos sem a necessidade de equipamentos adicionais, como notebooks.

Além disso, o sistema proposto agrega valor ao modernizar conversores antigos, possibilitando a comunicação via tecnologia Bluetooth, ampliando sua funcionalidade e prolongando sua vida útil. Apesar de utilizar circuitos básicos em sua construção, a aplicação descrita representa uma solução inovadora no contexto de medição e configuração de sistemas de fluxo, destacando-se por sua eficiência, baixo custo e adaptabilidade a tecnologias já consolidadas.

O desenvolvimento de dispositivos e técnicas voltados para a melhoria de sistemas de distribuição de água em processos industriais representa um desafio significativo, especialmente quando se busca evitar a substituição de equipamentos antigos já instalados. Essa abordagem não apenas reduz os custos de implementação, mas também valoriza os recursos existentes, promovendo uma solução mais sustentável. Nesse contexto, o monitoramento e controle remoto de dispositivos utilizando smartphones e a tecnologia Bluetooth emerge como

uma alternativa eficaz, permitindo maior flexibilidade e eficiência no gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis na planta industrial.

A migração do sistema de parametrização de conversores de fluxo para a comunicação Bluetooth abre novas possibilidades de controle remoto desses equipamentos. Essa funcionalidade é essencial para a adoção de técnicas avançadas de suporte à decisão em tempo real na gestão de água, permitindo a implementação de sistemas automatizados de controle. Tais sistemas são uma solução promissora para superar as limitações das operações manuais tradicionais, que frequentemente apresentam baixo desempenho e maior suscetibilidade a erros. Adicionalmente, a operação remota contribui significativamente para a segurança dos técnicos e operadores, pois elimina a necessidade de acessar áreas de risco, como locais de difícil acesso, regiões insalubres ou expostas a condições perigosas, como altas temperaturas e gases nocivos. Com o monitoramento remoto, é possível transmitir dados em tempo real para o acompanhamento detalhado da produção e distribuição de água ao longo do processo produtivo, garantindo maior confiabilidade operacional.

No âmbito das operações industriais, o uso da tecnologia Bluetooth para a parametrização remota de conversores de fluxo permite o monitoramento contínuo do fluxo de vazão, otimizando o desempenho dos sistemas de distribuição de água e possibilitando ações preventivas e corretivas mais rápidas e precisas. Além disso, a redução do tempo necessário para configurar os equipamentos minimiza interrupções no processo produtivo, contribuindo para a eficiência geral da planta.

A seguir, serão apresentados os detalhes técnicos do sistema de medição de vazão, os padrões de comunicação empregados e o processo de construção do sistema desenvolvido. Essa descrição abordará os componentes utilizados, as especificações técnicas e os benefícios proporcionados pela integração da tecnologia Bluetooth em conversores de fluxo tradicionais.

## **8.2. Sistema de Medição de Vazão**

Os medidores de vazão podem ser classificados de acordo com o tipo de sinal de saída do sensor, sendo categorizados como lineares ou não lineares. Os medidores lineares apresentam maior aplicação prática devido à sua capacidade de gerar uma tensão de saída proporcional à vazão medida, facilitando a interpretação e o processamento dos dados. Entre os principais tipos de medidores lineares destacam-se os de área variável, turbina, vórtice, eletromagnético, magnético e ultrassônico, cada qual com características específicas que os tornam adequados para diferentes contextos operacionais.

No presente trabalho de pesquisa, optamos por utilizar como referência os sensores de vazão Waterflux 3070 da Krohne, amplamente empregados em empresas de distribuição de água. Esses sensores baseiam-se no princípio eletromagnético, caracterizando-se pela ausência de partes móveis no interior do dispositivo e pelo contato direto com a variável a ser medida, no caso, a água. Tal característica reduz significativamente o desgaste mecânico e aumenta a confiabilidade do sistema em operações contínuas.

Esses sensores são instalados em ambientes frequentemente adversos, como áreas próximas a caldeiras ou sujeitas à exposição de radiações ionizantes. Nessas condições, o sistema de medição é geralmente configurado de forma remota, conectando o sensor ao conversor de vazão por meio de um cabo dedicado. Essa configuração permite que o sensor permaneça próximo ao ponto de medição, enquanto o conversor é instalado em um local de fácil acesso para operadores, como ilustrado na Figura 1. O conversor é equipado com um display que permite a leitura local da vazão medida. No entanto, para realizar tarefas mais avançadas, como configurações e calibrações, é necessário o uso de uma interface serial no padrão RS-232, o que requer ferramentas específicas e mão de obra técnica especializada.

Para garantir o correto funcionamento do conversor de vazão, as equipes técnicas utilizam uma estação pitométrica para comparar os valores medidos pelo conversor com aqueles obtidos por um tubo de Pitot. Esse equipamento mede a diferença de pressão entre uma tomada estática e uma dinâmica, que está alinhada com o fluxo de água. A partir dessa diferença de pressão, e considerando variáveis adicionais, como densidade, temperatura, viscosidade, área da tomada e rugosidade da tubulação, é possível calcular a velocidade do fluido dentro da tubulação. Os sensores utilizados para medir essas variáveis ficam dispostos em uma maleta portátil, conforme ilustrado na Figura 7, permitindo maior agilidade e precisão na realização dos testes em campo. Essa abordagem oferece uma solução robusta para validar e calibrar sistemas de medição de vazão em condições reais de operação, proporcionando maior confiabilidade no monitoramento e controle dos processos industriais e de distribuição de água.

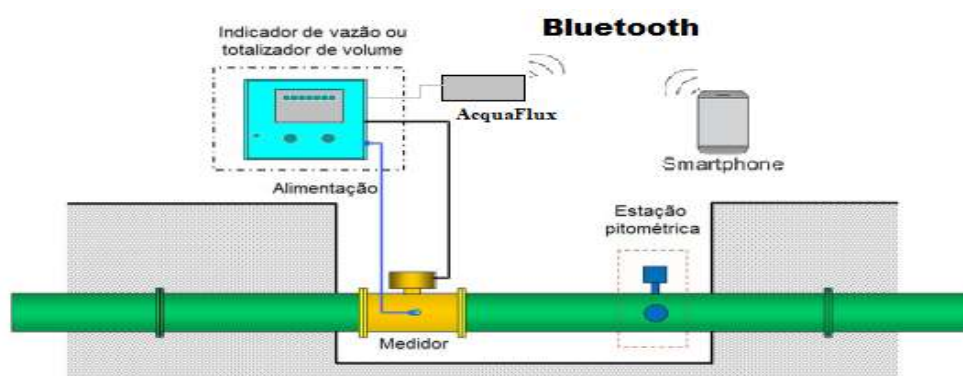
*Figura 7 - Estação de pitométrica*



Fonte: Adaptado da internet.

Quando o fluxo medido pela estação pitométrica apresenta discrepâncias em relação aos valores indicados pelo conversor de vazão, é necessário realizar a reconfiguração do conversor para garantir a precisão do sistema de medição. Tradicionalmente, esse processo é realizado utilizando um notebook conectado ao conversor por meio de uma interface serial, como ilustrado na Figura 4. Esse método, embora funcional, apresenta desafios, como a necessidade de transportar equipamentos volumosos, dificuldades de acesso ao local de instalação do conversor e exposição dos técnicos a ambientes potencialmente perigosos ou insalubres. Com o sistema desenvolvido, essa etapa de reconfiguração foi significativamente simplificada e aprimorada. A configuração do conversor agora pode ser realizada diretamente da estação pitométrica com o auxílio de um smartphone equipado com o aplicativo desenvolvido especificamente para este trabalho. Esse aplicativo se conecta ao conversor de vazão via Bluetooth, utilizando uma interface eletrônica que faz a conversão entre os sinais do padrão serial RS-232 e os níveis de tensão compatíveis com o módulo Bluetooth HC-05, conforme ilustrado na Figura 8.

*Figura 8 - Ilustração de calibração Pitométrica*



Fonte: Adaptado ANA,2021.

Essa inovação permite que os técnicos realizem a parametrização de forma remota e em tempo real, sem a necessidade de transportar notebooks ou acessar diretamente o local do conversor, que muitas vezes está em áreas de difícil acesso. Além de reduzir o tempo necessário para a reconfiguração, essa solução proporciona maior segurança aos operadores, que podem permanecer na estação pitométrica durante o processo, evitando exposição a condições adversas.

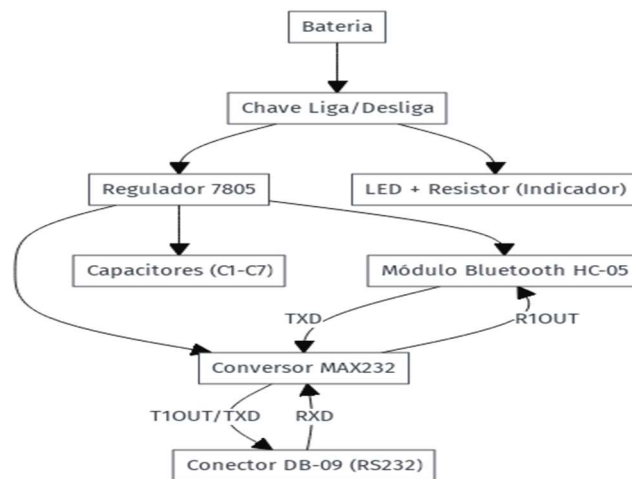
Ademais, a interface desenvolvida agrega praticidade ao transformar smartphones em ferramentas multifuncionais para o controle e monitoramento do sistema de medição de vazão, otimizando recursos e elevando a eficiência das operações de calibração e manutenção.

### 8.3. Montagem do conversor SR-232 Bluetooth

Os conversores de vazão possuem comunicação externa no padrão RS-232, que opera em modo full-duplex. Uma de suas conexões utiliza o conector DB-9, caracterizado por nove pinos, dentre os quais destacam-se o RxD (recepção de dados), o TxD (transmissão de dados) e outros destinados a garantir a confiabilidade da comunicação. O padrão RS-232 emprega níveis de tensão específicos: entre -3V e -15V para representar níveis altos (lógico "0") e entre 3V e 15V para níveis baixos (lógico "1"), enquanto tensões entre -3V e 3V são consideradas como zona de transição ou indefinição.

O objetivo do sistema ACQUAFLUX é receber os dados enviados pelo conector DB-9, no padrão serial RS-232, e transmiti-los via Bluetooth, permitindo a comunicação do conversor de vazão com dispositivos móveis, como smartphones. Contudo, existe uma discrepância entre os níveis de tensão utilizados nos padrões RS-232 e TTL (Transistor-Transistor Logic), amplamente adotado por dispositivos Bluetooth. O padrão TTL emprega tensões entre 0V e 0,8V para representar níveis baixos e entre 2V e 5V para níveis altos. Para resolver essa incompatibilidade, utiliza-se o chip MAX-232, que realiza a conversão dos sinais, permitindo a interoperabilidade entre os dois padrões, no figura a seguir podemos observar o fluxo de montagem do circuito elétrico.

Figura 9- Fluxo de montagem do circuito



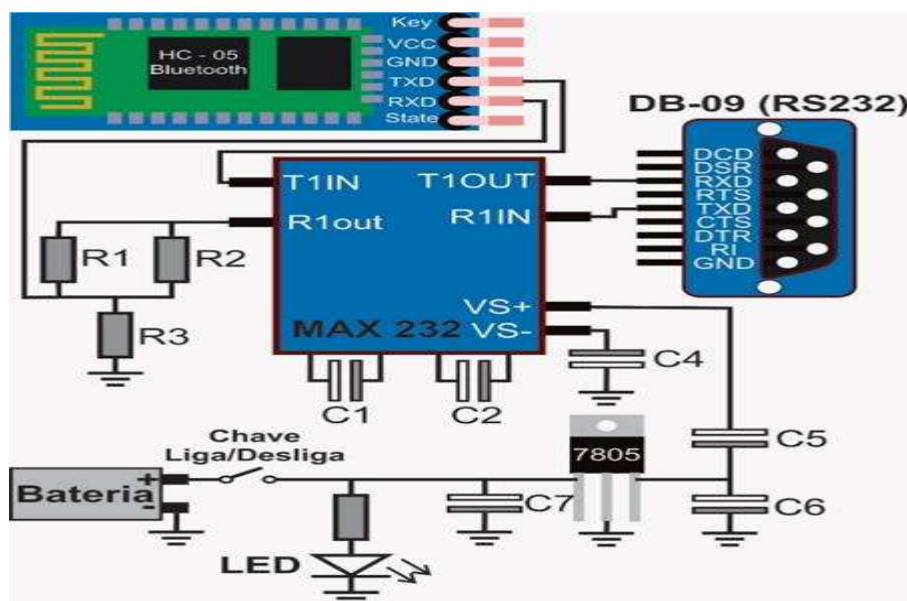
Fonte: Adaptado próprio autor

A escolha pelo padrão sem fio Bluetooth foi motivada por suas vantagens econômicas e técnicas. Em comparação a transmissores de rádio frequência, o Bluetooth apresenta baixo custo, baixo consumo de energia (cerca de 50 mW), e um alcance ideal para a aplicação, que requer comunicação em distâncias inferiores a 10 metros. Além disso, possibilita o uso de smartphones como dispositivos finais de configuração, proporcionando maior acessibilidade e

praticidade. A comunicação Bluetooth opera em modo full-duplex, utilizando ondas de rádio na faixa de frequência entre 2,4 GHz e 2,485 GHz, que é padronizada globalmente.

A seguir, será detalhada a construção do sistema remoto de parametrização, descrevendo o processo de integração entre os componentes e o funcionamento do ACQUAFLUX no ambiente proposto. Veja na figura 10, componentes que foram usados na construção do circuito.

Figura 10 - Montagem do Circuito Elétrico



Fonte: Adaptado Silva, 2013.

A saída do MAX-232 (R1Out), conforme ilustrado na Figura 10, é no padrão TTL com uma tensão de 5V. No entanto, o módulo Bluetooth HC-05 exige uma tensão de 3,3V em seu pino de recepção (RXD). Para atender a esse requisito e evitar danos ao módulo, foi implementado um divisor de tensão utilizando os resistores R1, R2 e R3, garantindo a redução da tensão de forma precisa. Esse circuito não apenas realiza a adequação dos níveis de tensão, mas também foi projetado para oferecer maior proteção às conexões e aumentar a durabilidade do dispositivo.

O protótipo desenvolvido foi fabricado e instalado em dois medidores Waterflux 3070 da fabricante Krohne. O custo estimado dos materiais utilizados para sua construção foi de aproximadamente R\$ 75,00 por unidade. Os testes realizados demonstraram que o dispositivo funcionou conforme o esperado, permitindo a parametrização dos conversores por meio do aplicativo Sensometer BT Monitor a uma distância de até 10 metros. O circuito apresenta um consumo de potência de cerca de 100 mW, o que proporciona uma autonomia superior a 25 horas quando alimentado por uma bateria de 9V com 500 mAh.

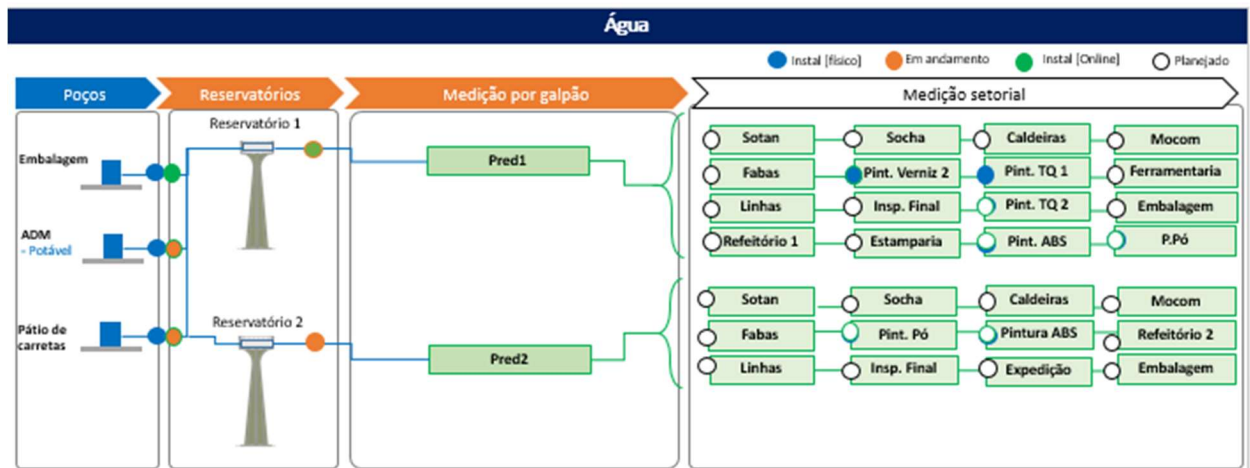
Para que a comunicação entre o dispositivo e o módulo Bluetooth seja bem-sucedida, é imprescindível que ambos estejam configurados com a mesma taxa de transmissão de dados

(baud rate). Nos testes realizados, os conversores eletromagnéticos de fluxo utilizados operavam com uma taxa de 115200 baud. Por esse motivo, os módulos HC-05 foram configurados para essa mesma taxa de transmissão. Esse processo foi realizado acessando o modo de configuração do módulo Bluetooth, com o auxílio do software Termite, e enviando comandos AT para alterar os parâmetros necessários.

O módulo Bluetooth HC-05 também possui um sistema de segurança baseado em uma senha, exigida no momento do pareamento inicial. Isso garante que apenas usuários autorizados possam acessar o dispositivo, minimizando riscos de uso indevido. Adicionalmente, para evitar possíveis vandalismos ou configurações indevidas no conversor de fluxo, recomenda-se que o dispositivo seja conectado apenas no início da parametrização e removido após sua conclusão. Isso não apenas protege o protótipo, mas também evita configurações acidentais ou mal-intencionadas que poderiam comprometer o experimento ou causar prejuízos.

Com base nos testes realizados, concluiu-se que o dispositivo desenvolvido é uma solução eficaz, acessível e de baixo consumo energético, com excelente desempenho em sua aplicação específica. Sua implementação representa uma alternativa viável que pode ser vista na figura 11 o planejamento de instalação e prática para a parametrização remota de conversores de fluxo, utilizando tecnologia Bluetooth de forma segura e confiável.

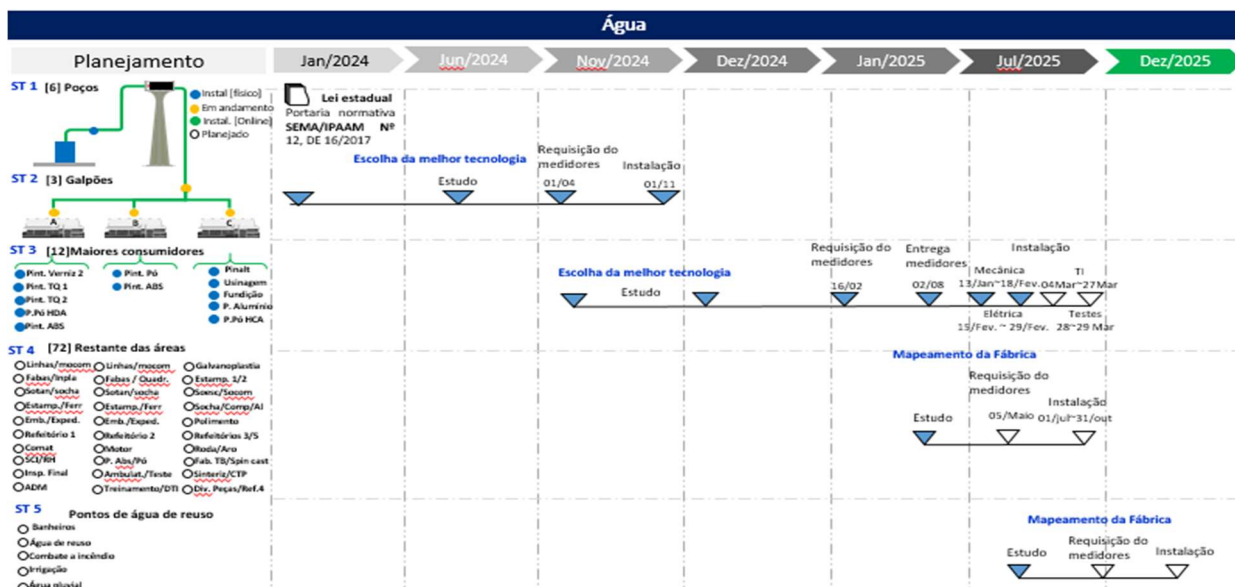
Figura 11 - Visão geral de instalação



Fonte: Adaptado próprio autor.

Na imagem temos o cenário atual do experimento, ao qual será a base para a implementação em larga escala em todos os departamentos da planta fabril estudada. Na figura abaixo temos um planejamento para expansão do projeto de pesquisa para outras áreas que são consideradas prioritárias.

Figura 12 - Cronograma de instalação de medidores de vazão



Fonte: Próprio autor.

## 9. Resultados Encontrados

Após a instalação do aplicativo no smartphone e sua configuração para comunicação com o módulo Bluetooth HC-05, o sistema torna-se capaz de obter e manipular os dados do conversor de vazão por meio de suas interfaces. Os comandos de parametrização são enviados diretamente pelo aplicativo Android no smartphone. Esses comandos são transmitidos ao módulo Bluetooth, processados e, após a conversão dos níveis lógicos pelo AcquaFlux, a parametrização do conversor de vazão é realizada de forma eficiente e precisa.

Uma vez instalado em campo, o sistema permite o pareamento do smartphone ao conversor, possibilitando o acesso completo a diversas funcionalidades, como leitura de vazão, leitura e alteração do fator de correção, bem como a mudança das unidades de engenharia utilizadas. Essa flexibilidade assegura que os técnicos consigam ajustar as configurações do equipamento de maneira ágil e direta.

O tempo de resposta do sistema depende de fatores como a localização física do conversor de vazão e o número de parâmetros que precisam ser acessados ou modificados. Os testes realizados em campo demonstraram que o uso do AcquaFlux reduz significativamente o tempo de execução das atividades de manutenção, especialmente em locais onde o acesso ao conversor é mais difícil. O maior benefício observado foi o ganho em mobilidade, permitindo que os técnicos realizassem a parametrização remotamente, o que trouxe mais conforto, segurança e melhores condições de trabalho.

Além disso, o sistema apresenta um custo significativamente menor quando comparado ao uso de computadores portáteis para equipes de campo ou à substituição dos conversores por modelos mais modernos com comunicação sem fio integrada. Essa solução econômica contribui para uma gestão mais eficiente dos recursos, mantendo a funcionalidade e confiabilidade do sistema de medição.

Os testes realizados em ambientes controlados e em campo confirmaram a eficiência do sistema de parametrização remota para medidores de fluxo que originalmente não possuem tecnologia de acesso remoto. O desenvolvimento desta aplicação trouxe uma série de vantagens, como:

- Redução de gastos com aquisição de computadores portáteis;
- Diminuição do tempo de configuração dos medidores de fluxo;
- Maior segurança para as equipes durante o processo de parametrização;
- Eliminação de deslocamentos repetitivos entre o conversor de vazão e a estação pitométrica, otimizando a logística de trabalho.

Outro destaque do projeto é sua versatilidade. O AcquaFlux, desenvolvido no escopo dessa solução, pode ser utilizado em outras aplicações que utilizem comunicação serial via RS-232 e necessitem de conversão para níveis de tensão TTL para integração com dispositivos Bluetooth. Essa característica amplia as possibilidades de uso do sistema, proporcionando maior praticidade, economia e segurança em uma variedade de aplicações além do contexto de medidores de fluxo.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema Sensometer BT Monitor demonstrou a viabilidade e eficiência da aplicação de tecnologias modernas, como o Bluetooth, em sistemas industriais tradicionais. A proposta inovadora de parametrizar conversores de fluxo remotamente por meio de smartphones trouxe avanços significativos em termos de acessibilidade, segurança e eficiência operacional.

### **Os principais benefícios alcançados incluem:**

**Modernização de Equipamentos Legados:** A integração de tecnologia Bluetooth em conversores antigos permitiu estender sua vida útil, evitando a necessidade de substituição completa e reduzindo custos operacionais.

**Facilidade de Operação:** O uso de smartphones eliminou a dependência de notebooks e ferramentas volumosas, proporcionando maior mobilidade aos operadores.

**Segurança Operacional:** A parametrização remota minimizou a exposição dos técnicos a ambientes insalubres e áreas de risco, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro.

**Eficiência Energética e Econômica:** O dispositivo apresentou baixo consumo energético e um custo acessível de fabricação, tornando-o uma solução economicamente viável.

**Flexibilidade e Compatibilidade:** A interface adaptada para comunicação entre os padrões RS-232 e TTL ampliou a aplicabilidade do sistema a diversos cenários industriais.

Os testes realizados confirmaram a funcionalidade do sistema, com alcance de até 10 metros e precisão nas configurações realizadas. A solução proposta representa um marco na integração de tecnologias emergentes em sistemas industriais consolidados, destacando-se como uma alternativa sustentável e eficaz.

Esse projeto apresentou uma proposta inovadora de sistema de monitoramento, o Sensometer BT Monitor, que integra sensores de IoT, protocolos de comunicação sem fio e uma plataforma analítica para monitorar parâmetros como volume, vazão, pressão, pH, condutividade elétrica e temperatura da água em linhas de produção. O sistema utiliza tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, para fornecer dados precisos e insights em tempo real, facilitando a tomada de decisões e a detecção antecipada de anomalias, operando em ambientes industriais

## 11. Projetos Futuros

Embora o projeto tenha alcançado os objetivos propostos, algumas direções futuras podem ser exploradas para ampliar a aplicabilidade e robustez do sistema:

### **a) Expansão da Conectividade**

Incorporar suporte para protocolos de comunicação sem fio mais avançados, como Wi-Fi e LoRa, para atender a aplicações que requerem maior alcance e largura de banda, especialmente em plantas industriais de grande porte.

#### **b) Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento em Nuvem**

Ampliar o sistema para integrar funcionalidades de armazenamento e análise de dados em tempo real na nuvem. Isso possibilitaria maior visibilidade e controle sobre os processos industriais, facilitando a implementação de manutenção preditiva e tomada de decisão baseada em dados.

#### **c) Aprimoramento da Interface Gráfica**

Otimizar o aplicativo Sensometer BT Monitor para incluir gráficos em tempo real, relatórios automatizados e alertas preditivos. Uma versão multiplataforma (Android/iOS) também pode aumentar a acessibilidade para diferentes operadores.

#### **d) Automação e Inteligência Artificial**

Adicionar algoritmos de aprendizado de máquina ao sistema para prever anomalias ou falhas no fluxo de operação, aumentando a confiabilidade do monitoramento e reduzindo o tempo de resposta a eventos inesperados.

#### **e) Compatibilidade com Outros Sensores**

Expandir a compatibilidade do sistema para integrar outros tipos de sensores industriais, como sensores de temperatura, pressão e qualidade da água, criando um ecossistema de monitoramento integrado.

Com essas melhorias e expansões, o sistema Sensometer BT Monitor poderá consolidar-se como uma solução referência na modernização de sistemas de medição e controle. A integração de tecnologias de ponta com foco na sustentabilidade e na eficiência operacional contribui significativamente para o avanço das práticas industriais em um contexto de transformação digital.

## REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Manual orientativo para calibração de macromedidores de vazão de água por meio da técnica de pitometria. Brasília: ANA, 2021. 152 p. il. ISBN 978-65-88101-09-4 (Digital). Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-lanca-manual-tecnico-sobre-calibracao-de-medidores-de-vazao-em-grandes-tubulacoes/manual-orientativo-pitometria.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2024.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 2010. Disponível em: <https://www.cs.mun.ca/courses/cs6910/IoT-Survey-Atzori-2010.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- BEGA, Egídio Alberto (Org.); DELMÉE GERARD J. et al. Instrumentação industrial. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. xxv, 668 p. ISBN 9788571932456
- BENTO, B. R. Automação Aplicada à Redução do Desperdício de Água em Instalações Prediais. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2016. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1025/1/MONOGRAFIA\\_Automa%c3%a7%c3%a3oAplicadaRedu%c3%a7%c3%a3o.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1025/1/MONOGRAFIA_Automa%c3%a7%c3%a3oAplicadaRedu%c3%a7%c3%a3o.pdf). Acesso em: 6 maio 2024.
- CASTRO, F. M.; PACHECO, M. D. A. F.; PINHEIRO, E. C. N. M. Indústria 4.0 e Internet Industrial das Coisas (IIoT): sistema IoT para monitoramento e controle de sensores e atuadores mapeados. Revista Científica de Alto Impacto, v. 27, n. 122, p. 1-12, 2023. Disponível em: <https://revistaft.com.br/industria-4-0-e-internet-industrial-das-coisas-iiot-sistema-iot-para-monitoramento-e-controle-de-sensores-e-atuadores-mapeados/>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- CLIMATE CHAMPIONS. Fair Water Footprints: A pivotal event at World Water Week 2023. United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat (UNFCCC), 2023. Disponível em: <https://climatechampions.unfccc.int/fair-water-footprints-a-pivotal-event-atworld-water-week-2023/>. Acesso em: 27 maio 2024.
- DELMÉE, G. J. Manual de medição de vazão. 3. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.
- FRANÇA, F. A. Instrumentação e Medidas: grandezas mecânicas, UNICAMP 2007.
- GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. Disponível em: <http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/IoT%20Vision.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- GARIBALDE, H. R. R. Automatização e Monitoramento de Sistema de Abastecimento de Água. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2021. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3197>. Acesso em: 5 maio 2024.
- GRIFFITHS, David J. “Introduction to Electrodynamics” 3ª ed. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, 1999, pp. 301–303.
- GOKHALE, P. BHAT, O. BHAT, S. Introduction to IOT. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, Vol. 5, Issue 1, 2018 [acesso em 20 mai. 2024]. DOI 10.17148/IARJSET.2018.517. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/330114646\\_Introduction\\_to\\_IOT](https://www.researchgate.net/publication/330114646_Introduction_to_IOT). Acesso em: 01 Nov. 2024.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. Disponível em: <http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/IoT%20Vision.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2024.

HAYWARD, A. T. J. *Flowmeters: a basic guide and source-book for users*. London: The Macmillian Press LTD, 1979.

JESUS, Klebio. *Aplicação de Internet das Coisas (IoT) na Agricultura de Precisão*. 2021. Monografia (Sistemas de Informação) – Universidade Estadual de Goiás, Posse-GO. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/tede/643>. Acesso em: 13 dez. 2024.

KE, L.; SLATTERY, C. Electromagnetic flow meters achieve high accuracy in industrial applications. *Analog Dialogue*, 2014. Disponível em: <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/electromagnetic-flow-meters-achieve-high-accuracy.html>. Acesso em: 14 dez. 2024.

MAIA, Jorge Andrade Seixas. *Arquitetura base para soluções de Internet das Coisas: aplicações de telemetria e computação na ponta com uso de Microsoft Azure nos modelos de IaaS, PaaS e SaaS*. 2020. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) — Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/40643>. Acesso em: 13 dez. 2024.

MARTINS, N. *Manual de medição de vazão: através de placas de orifício, bocais e venturis*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

SANTOS, MP. OLIVEIRA, JKC. *Automação De Baixo Custo Para Reservatórios De Água*. *Revista Principia, Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, Paraíba* 2014. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/download/173/142>. Acesso em: 5 mai. 2024.

SIIVA, CDH. *Controle De Caixa D'água Computadorizado*. Monografia. Centro Universitário De Brasília. Brasília, Distrito Federal. 2013 [acesso em 18 mai. 2024]. Disponível em: [https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/3856/1/Carolina%20Holanda%20Monografia%201\\_2013.pdf](https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/3856/1/Carolina%20Holanda%20Monografia%201_2013.pdf).

SOISSON, H. E. *Instrumentação Industrial*. Hemus Ed., Curitiba, PR, ISBN 83-289-0145, 2002.

SOUZA, R. M. O.; SANTOS, J. R.; AMICI, T. T.; CAMUSSO, D. Monitoramento de Caixa d'Água com Realidade Aumentada e IoT. *Revista Brasileira de Mecatrônica*, v. 4, n. 2, p. 56–67, 2021. ISSN 2596-1233. Disponível em: <https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/138>. Acesso em: 10 maio 2024.