

# **Implementação de Sistemas IoT na Indústria para Otimização e Controlo de Tanques de Água Contaminada**

**Pedro Gomes Neves**

Versão final corrigida  
Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Informática**  
(2<sup>o</sup> ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Bruno Miguel Correia da Silva  
Co-orientador: Engenheiro Luís Simões

**julho de 2025**





# **Declaração de Integridade**

Eu, Pedro Gomes Neves, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M13758 do 2º Ciclo de Engenharia Informática da Faculdade de Engenharias, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o Código de Integridades da Universidade da Beira Interior.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 25/07/2025

# Agradecimentos

A realização deste relatório e deste projeto, representa a concretização de uma importante etapa tanto do meu percurso académico como pessoal. Foram ultrapassados diversos desafios superados e muitas aprendizagens que me permitiram crescer não só como estudante, mas sobretudo como pessoa.

A minha família teve um papel importantíssimo ao longo de todo o meu percurso académico, com um suporte e um apoio inalcançável. Sempre me incentivaram a progredir o meu percurso académico mesmo em momentos mais difíceis da minha. A todos eles, o meu mais profundo agradecimento.

Queria agradecer aos meus amigos, que estiveram sempre presentes nos bons e maus momentos, a presença e amizade destas pessoas foi fundamentais ao longo desta fase tão importante da minha vida.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Bruno Miguel Correia da Silva, pelo acompanhamento académico, pela orientação constante e pelas valiosas sugestões que ajudaram a moldar este trabalho, um contributo essencial para garantir a qualidade e profundidade do projeto aqui apresentado.

Este trabalho foi feito sob orientação do Professor Bruno Silva e com o Instituto de Telecomunicações, Covilhã. Igualmente foi também apoiado pelo laboratório de investigação Secure and Intelligent Networked Systems (sins-lab).

Dirijo um agradecimento especial Ao Eng. Luís Simões, orientador de estágio na empresa Tria S.A., o meu agradecimento pela disponibilidade, apoio técnico e confiança ao longo de todo o desenvolvimento do estágio. A sua orientação prática foi determinante para a evolução do projeto e para o meu crescimento enquanto profissional em formação.

Não posso deixar de dar as graças a todos os colegas e ao departamento de informática da empresa, que me receberam muito bem desde o primeiro dia. Fizeram com que eu me sentisse totalmente parte da equipa, sempre prontos para ajudar, tirar dúvidas e dividir o que sabem num ambiente de grande profissionalismo e camaradagem entre todos.

Os meus sentidos agradecimentos a estas pessoas.



# Resumo

O presente relatório descreve o desenvolvimento de um sistema IoT de monitorização de tanques de água contaminada ao longo do parque industrial do Grupo TESTA, com foco na eficiência e robustez.

O objetivo principal do sistema passa por ter uma monitorização e um controlo contínuo dos tanques de líquido contaminado, utilizando sensores ultrassónicos ligados a microcontroladores para receber e processar os dados, para em seguida os enviar para uma plataforma IoT.

Foi desenhada uma arquitetura geral do sistema de forma a assegurar, o máximo possível, o funcionamento fiável e o baixo custo de aquisição dos componentes, bem como a criação de dashboards para a visualização dos dados e alertas em casos de níveis críticos.

Para além da monitorização, o sistema tenciona incorporar uma camada de inteligência via algoritmos preditivos, que permitem antecipar situações de risco e propor ações preventivas.

Este trabalho destaca-se pela combinação de tecnologias emergentes na resolução de desafios industriais, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos.

# Palavras-chave

Internet das Coisas, IoT, Monitorização de Tanques, Água Contaminada, Sensores Ultrassónicos, Raspberry Pi, ThingsBoard, MQTT, Machine Learning, Algoritmos Preditivos, Monitorização e controlo Industrial, Microcontroladores, Dashboards, Processamento de Dados.



# Abstract

This report describes the development of an IoT system for monitoring contaminated water tanks across the industrial park of the TESTA Group, focusing on efficiency and robustness.

The main objective of the system is to enable continuous monitoring and control of contaminated liquid tanks, using ultrasonic sensors connected to microcontrollers to collect and process data, which is then sent to an IoT platform.

A general system architecture was designed to ensure reliable operation and minimize component acquisition costs, as well as the creation of dashboards for data visualization and alerts in critical level situations.

Beyond monitoring, the system aims to incorporate an intelligence layer through predictive algorithms, allowing the anticipation of risk scenarios and the proposal of preventive actions.

This work stands out for combining emerging technologies to address industrial challenges, contributing to a more efficient and sustainable resource management.

# Keywords

Internet of Things, IoT, Tank Monitoring, Contaminated Water, Ultrasonic Sensors, Raspberry Pi, ThingsBoard, MQTT, Machine Learning, Predictive Algorithms, Industrial Monitoring and Control, Microcontrollers, Dashboards, Data Processing.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento . . . . .	1
1.2	Motivação . . . . .	1
1.3	Apresentação do Estagiário . . . . .	2
1.4	Apresentação da empresa . . . . .	2
1.5	Apresentação do Grupo TESTA . . . . .	3
1.5.1	<b>Valores, Missão e Visão do Grupo</b> . . . . .	3
1.6	Objetivos do estágio . . . . .	7
1.7	Apresentação do Departamento de Informática . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Planeamento</b>	<b>9</b>
2.1	<b>Introdução à empresa e integração na equipa de informática.</b> . . . .	9
2.2	<b>Reuniões com os responsáveis de cada departamento.</b> . . . . .	10
2.3	<b>Discussão de possíveis projetos IoT com o chefe de IT.</b> . . . . .	10
2.4	<b>Pesquisa e análise de plataformas IoT.</b> . . . . .	10
2.5	<b>Pesquisa de sensores adequados para o projeto.</b> . . . . .	11
2.6	<b>Pesquisa e análise de microcontroladores.</b> . . . . .	11
2.7	<b>Revisão de trabalhos semelhantes na área.</b> . . . . .	11
2.8	<b>Reuniões sobre a importância da industrialização e robustez do sistema.</b> . . . . .	12
2.9	<b>Levantamento e medição dos tanques de água contaminada.</b> . . . . .	12
2.10	<b>Definição de objetivos e requisitos para o sistema IoT.</b> . . . . .	12
2.11	<b>Desenho de uma possível arquitetura do sistema.</b> . . . . .	13
2.12	<b>Criação de um esquema geral do sistema.</b> . . . . .	13
2.13	<b>Planeamento de comunicação entre sensores, microcontroladores e plataforma</b> . . . . .	13
2.14	<b>Aperfeiçoamento da proposta de relatório.</b> . . . . .	14
2.15	<b>Seleção e aquisição de componentes.</b> . . . . .	14
2.16	<b>Configuração inicial do Raspberry Pi e instalação do sistema operativo.</b> . . . . .	14
2.17	<b>Implementação, desenvolvimento de scripts e testes iniciais.</b> . . . .	14
2.18	<b>Testes de ligação e integração com a plataforma ThingsBoard.</b> . . .	14
2.19	<b>Criação de dashboards e implementação de notificações.</b> . . . . .	15
2.20	<b>Algoritmos preditivos e de análise de dados.</b> . . . . .	15
2.21	<b>Implementação do sistema numa das áreas do parque industrial.</b> .	15
2.22	<b>Refinamento do sistema e novos testes.</b> . . . . .	15
2.23	<b>Últimos ajustes, entrega final e propostas para possíveis melhorias.</b>	15

<b>3</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>17</b>
3.1	Introdução . . . . .	17
3.2	Internet of Things (Internet das Coisas (IoT)) . . . . .	17
3.3	Plataformas IoT . . . . .	18
3.3.1	Thingsboard . . . . .	18
3.4	Estudos Relacionados . . . . .	31
3.4.1	Zabbix . . . . .	31
3.4.2	<b>Deep Learning-Based Unmanned Surveillance Systems for Observing Water Levels</b> . . . . .	41
3.4.3	<b>Sistema de controlo de tanques de água nas salas de compressores industriais</b> . . . . .	41
3.4.4	<b>Sistema de Gestão e Descarte de Água Residual em Operações Industriais</b> . . . . .	42
3.5	Conclusão . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Engenharia de Software</b>	<b>45</b>
4.1	Introdução . . . . .	45
4.2	Escalabilidade e Expansão do Protótipo . . . . .	45
4.2.1	<b>Área de Implementação do Projeto</b> . . . . .	46
4.3	Análise de Requisitos de Sistema . . . . .	47
4.3.1	<b>Requisitos Funcionais</b> . . . . .	47
4.3.2	<b>Requisitos Não Funcionais</b> . . . . .	48
4.4	<b>Especificação dos Sensores</b> . . . . .	49
4.4.1	<b>Sensor A01NYUB</b> . . . . .	49
4.4.2	<b>Sensor JSN-SR04T</b> . . . . .	50
4.4.3	<b>Sensor A02YYUW</b> . . . . .	50
4.5	Especificação dos Microcontroladores . . . . .	51
4.5.1	<b>ESP32</b> . . . . .	51
4.5.2	<b>Arduino Nano 33 IoT</b> . . . . .	51
4.5.3	<b>Orange Pi Zero</b> . . . . .	52
4.5.4	<b>Raspberry Pi Zero 2 WH</b> . . . . .	52
4.5.5	<b>Justificação para a Escolha do Raspberry Pi Zero 2 WH</b> . . . . .	52
4.6	Comunicação entre o Sensor e o Microcontrolador . . . . .	53
4.7	Comunicação entre o Microcontrolador e a Plataforma IoT . . . . .	54
4.8	Arquitetura Geral do Sistema de Monitorização . . . . .	54
4.9	Descrição do Funcionamento e das Componentes do Sistema . . . . .	56
4.10	Utilização de cabos USB-A . . . . .	57
4.11	Lógica do Funcionamento de um Sensor Ultrassónico para Medição do Nível de Água . . . . .	58
4.12	Incorporação de Inteligência no Sistema IoT . . . . .	60

<b>5</b>	<b>Desenvolvimento do Sistema</b>	<b>61</b>
5.1	Ligações dos Componentes . . . . .	61
5.1.1	Sensor e microcontrolador . . . . .	61
5.1.2	<b>Implementação do Software</b> . . . . .	62
5.2	Desenvolvimento do <i>Software</i> . . . . .	63
5.2.1	<b>Estrutura dos Scripts e Lógica</b> . . . . .	63
5.2.2	<b>Armazenamento e Gestão de Dados</b> . . . . .	64
5.2.3	<b>Implementação de Inteligência Artificial no Sistema de Mo- nitorização</b> . . . . .	65
5.2.4	<b>Notificações de Utilizador</b> . . . . .	66
5.3	<i>Dashboards</i> na Plataforma IoT . . . . .	67
5.3.1	<i>Dashboards</i> de Indicador de Nível Atual . . . . .	67
5.3.2	<i>Dashboards</i> de Gráficos ao Longo do Tempo . . . . .	68
5.3.3	<i>Dashboards</i> de Notificações . . . . .	69
5.3.4	<i>Dashboards</i> de Previsão . . . . .	70
5.3.5	<i>Dashboards</i> de Consumo de Energia . . . . .	71
5.4	Controlo de Acesso e Segurança . . . . .	72
5.5	Implementação e Instalação Final do Sistema . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Conclusão e Testes Realizados</b>	<b>75</b>
6.1	Testes Realizados . . . . .	75
6.2	Conclusão . . . . .	76
	<b>Bibliografia</b>	<b>79</b>



# Lista de Figuras

1.1	Instalações Grupo TESTA. . . . .	6
1.2	Instalações Grupo TESTA. . . . .	6
1.3	Instalações Grupo TESTA. . . . .	7
2.1	Gráfico Gantt desde o início do estágio até à interrupção letiva do natal. . . . .	9
2.2	Gráfico Gantt desde o início de janeiro até ao fim estágio. . . . .	13
3.1	Arquitetura do Thingsboard. Fonte: Link para o diagrama. . . . .	20
3.2	Desenho de um painel de dashboards do Thingsboard. Fonte: Link para o dashboard. . . . .	21
3.3	Esquema de funcionamento do gateway do Thingsboard. Fonte: Link para a imagem. . . . .	22
3.4	Esquema Geral de como funciona Blynk: Link para a imagem. . . . .	23
3.5	Esquema ilustrativo dos pontos positivos do funcionamento do Blynk: Link para a imagem. . . . .	24
3.6	Desenho de como funciona o Node-RED: Link para a imagem. . . . .	26
3.7	Representação de dashboards do Adafruit IO: Link para a imagem. . . . .	27
3.8	Representação de dashboards do Adafruit IO: Link para a imagem. . . . .	28
3.9	Representação de dashboards do Ubidots: Link para a imagem. . . . .	30
3.10	Representação de dashboards do Kaa: Link para a imagem. . . . .	31
4.1	Imagem do parque industrial Grupo TESTA, onde o sistema foi desenvolvido. . . . .	46
4.2	Desenho da arquitetura geral do funcionamento do sistema, dividido nas diversas camadas IoT. . . . .	55
4.3	Esquema do sistema de monitorização com foco na organização dos componentes e na proteção contra fatores do ambiente industrial onde será instalado. A estrutura apresentada demonstra a disposição cuidada dos diversos elementos eletrónicos (como o microcontrolador, cablagem entre outros), garantindo acessibilidade para manutenção, proteção contra poeiras, humidade e vibrações. . . . .	57
4.4	Esquema ilustrativo do funcionamento do sensor ultrassónico aplicado à medição do nível de água no tanque. . . . .	59
5.1	Esquema das ligações elétricas entre o sensor ultrassónico e o microcontrolador, com indicação explícita dos pinos utilizados visando garantir uma ligação correta e segura para a aquisição de dados. Link para a imagem. . . . .	62
5.2	Representação da receção de notificações por <i>Short Message Service</i> (SMS), após acontecerem os níveis críticos do tanque. . . . .	66
5.3	Desenho específico do funcionamento da <i>Rule chains</i> de notificação diretamente na plataforma IoT. . . . .	67

5.4	Visão geral da <i>interface</i> de visualização na plataforma <i>ThingsBoard</i> . A imagem apresenta a página principal do sistema IoT na plataforma <i>ThingsBoard</i> , onde estão reunidos os diferentes <i>dashboards</i> implementados. Estes <i>dashboards</i> permitem ao utilizador aceder de forma centralizada a diversas funcionalidades do sistema, como o acompanhamento em tempo real dos níveis dos tanques, histórico de medições, previsões de níveis críticos, consumo energético estimado e notificações de alerta. . . . .	68
5.5	Representação real dos <i>dashboards</i> dos níveis atuais dos tanques, tanto quando o mesmo está vazio como cheio. . . . .	68
5.6	A imagem representa os <i>Dashboards</i> dos gráficos temporais que permitem acompanhar a evolução dos níveis críticos dos tanques, permite acompanhar mensalmente de forma a perceber tendências como o acompanhamento das leituras nas últimas 24 horas. . . . .	69
5.7	A figura ilustra notificações de alerta que não estão diretamente na página de <i>dashboards</i> , mas que estão diretamente na plataforma IoT, independentemente de que página o utilizador estiver no momento, a notificação aparece sempre no canto superior direito. . . . .	69
5.8	Representação real do <i>dashboard</i> de notificação, ativada quando o nível de um tanque atinge valores críticos. Neste <i>dashboard</i> podemos ver algumas informações sobre a notificação como o dia e hora que surgiu, o tipo, a gravidade da notificação, o nível do tanque quando surgiu a notificação e o descarte da mesma caso o utilizador assim pretenda. . . . .	70
5.9	A imagem representa o <i>dashboard</i> de previsão de níveis críticos do tanque com base em inteligência artificial. Este <i>dashboard</i> exhibe a probabilidade, em percentagem, do tanque atingir níveis críticos em cada dia útil da semana. . .	71
5.10	A imagem representa o <i>dashboard</i> de estimativa do consumo energético do sistema. O <i>dashboard</i> é responsável por exibir o consumo energético estimado do sistema IoT, com base em parâmetros como tempo de atividade, utilização do processador e comportamento do sensor. . . . .	71
5.11	Esta imagem mostra o local e o tanque de água contaminada onde o sistema IoT foi implementado. Esta é uma das áreas dedicadas apenas a compressores indústrias e maquinaria industrial. . . . .	73
5.12	Caixa técnica com instalação elétrica e um <i>Raspberry Pi</i> montada na parede, ligada ao sensor inserido no tanque, junto a esta caixa técnica. . . . .	73
5.13	Representação do sensor ultrassónico instalado na tampa do tanque, orientado diretamente para baixo. . . . .	74
5.14	A imagem representa visão geral da instalação final do sistema IoT no ambiente industrial. . . . .	74

# Lista de Acrónimos

**IoT** Internet das Coisas

**UBI** Universidade da Beira Interior

**API** *Application Programming Interface*

**HTTP** *Hypertext Transfer Protocol*

**HVAC** *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*

**ISO** *International Organization for Standardization*

**SQL** *Structured query language*

**NoSQL** *Not Only SQL*

**SSL** *Secure Sockets Layer*

**MQTT** *Message Queuing Telemetry Transport*

**SNMP** *Simple Network Management Protocol*

**TLS** *Transport Layer Security*

**TCP** *Transmission Control Protocol*

**UDP** *User Datagram Protocol*

**SMS** *Short Message Service*

**UART** *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*

**TTL** *Transistor-Transistor Logic*

**Wi-Fi** *wireless fidelity*

**RX** *Receiving of Data*

**TX** *Transmission of Data*

**A** Amperes

**Wh** Watt-hora

**GPIO** *General Purpose Input/Output*



# Capítulo 1

## Introdução

Este capítulo visa apresentar elementos fundamentais que sustentam o estágio curricular realizado na empresa Tria, parte do Grupo Testa, no âmbito do Mestrado em Engenharia Informática na Universidade da Beira Interior (UBI).

Ao longo deste capítulo, serão abordados diversos temas introdutórios, tais como o enquadramento do estágio no contexto académico, as motivações para a sua escolha, os objetivos definidos para o projeto e algumas das metodologias propostas para atingir esses objetivos.

### 1.1 Enquadramento

No último ano do segundo ciclo de estudos do Mestrado em Engenharia Informática na Universidade da Beira Interior, os alunos frequentam, no primeiro semestre, a unidade curricular "Projeto de Dissertação ou Estágio em Engenharia Informática".

O principal objetivo desta disciplina é preparar os alunos para a unidade curricular do segundo semestre, "Dissertação ou Estágio em Engenharia Informática". Durante o primeiro semestre, os alunos devem elaborar um "plano" ou pré-relatório de estágio, que servirá como base para o relatório final a ser desenvolvido no segundo semestre. Esse pré-relatório é entregue e avaliado antes do término do primeiro semestre, permitindo que os alunos, ao longo do curso, estejam mais bem preparados para a realização do relatório final.

Este trabalho enquadra-se no âmbito do estágio curricular proposto pelo aluno, sendo realizado na empresa Tria, parte do Grupo Testa, que demonstrou interesse na implementação de tecnologias IoT.

O projeto pode abranger tanto a linha de produção como os escritórios e espaços de uso comum da empresa. Este relatório documenta a projeção do trabalho e a pesquisa realizada, bem como o desenvolvimento e a conclusão do projeto.

### 1.2 Motivação

Ao falar com a empresa sobre um possível estágio, as minhas expectativas estavam elevadas, pois o meu entusiasmo era grande em aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso. A disciplina de IoT foi uma das que mais me interessou no primeiro ano de mestrado, pois oferecia uma combinação de teoria, prática e uma componente física onde tive contacto direto com microcontroladores e sensores, entre outros. Essa experiência despertou o meu interesse por trabalhar com tecnologias IoT, e a possibilidade de estagiar com este tema foi particularmente motivadora.

Assim, quando abordei o Grupo Testa e eles demonstraram interesse, mesmo não tendo contacto com tecnologias IoT, decidi embarcar nesta aventura para explorar novas abordagens e caminhos que ainda não tinham sido explorados por ambos.

Ao longo do planeamento dos projetos, percebi a importância de gerir essas expectativas de forma realista e produtiva. Reconheço que, do ponto de vista mental, é fundamental ter expectativas como forma de motivação, mas é igualmente importante evitar metas irrealistas, que poderiam comprometer tanto o meu crescimento como desmotivar-me ao longo do estágio.

A definição de expectativas claras e alcançáveis mostrou-se essencial para avaliar o sucesso do estágio. Ao ajustar os meus objetivos e prazos de forma realista, consegui manter o foco no desenvolvimento gradual e contínuo, evitando a frustração associada a progressos demasiado rápidos.

A integração no mundo empresarial representa uma oportunidade única para crescer profissional e pessoalmente. Neste estágio, procurei aprender com cada experiência, estabelecer boas relações com colegas e superiores, e ser pró-ativo na aquisição de novos conhecimentos. Assim, enfrentei esta experiência com entusiasmo e determinação, aproveitando ao máximo todas as oportunidades que me foram apresentadas.

### **1.3 Apresentação do Estagiário**

O estagiário Pedro Neves nasceu em março de 2001, é natural de Viseu e concluiu o ensino secundário na Escola Secundária de Santa Comba Dão, local onde reside, em 2019. No mesmo ano, ingressou na Universidade da Beira Interior, onde optou pela Licenciatura em Engenharia Informática, que concluiu em 2023.

Dando continuidade ao seu percurso académico, no mesmo ano iniciou o Mestrado em Engenharia Informática na UBI, onde atualmente encontra-se no segundo ano, com estatuto de finalista. O Pedro procura concluir o mestrado no final do presente ano letivo, alcançando assim o grau de Mestre em Engenharia Informática.

### **1.4 Apresentação da empresa**

“Fundada em 1989, a TRIA [1] é uma empresa portuguesa, integrada no Grupo TESTA, dedicada ao desenvolvimento, produção, comercialização e manutenção de Sistemas de Proteção Passiva Contra Incêndio e produtos Termorresistentes. A TRIA possui 4 unidades de produção onde conta com mais de 250 colaboradores, 4 empresas subsidiária – França, Espanha e Alemanha, e exporta os seus produtos para mais de 40 países. A TRIA possui uma vasta gama de produtos e soluções, tais como, portas técnicas; envidraçados; cortinas de fumo e corta-fogo, exutores e clarabóias, selagens corta-fogo; argamassas, entre outras soluções na

área da Proteção Passiva Contra Incêndios.

No final de 2017, a TRIA adquiriu a PORSEG, o seu maior concorrente no setor das portas técnicas em Portugal, Angola e Moçambique. A PORSEG é uma empresa portuguesa que se dedica à produção, comercialização e instalação de todo o tipo de portas técnicas, desde as portas blindadas de alta segurança às portas corta-fogo, acústicas ou anti-bala. Após a aquisição da PORSEG pela TRIA efetuou-se uma fusão entre as duas empresas, passando os produtos da PORSEG a serem produzidos e comercializados pela TRIA.

TRIA possui uma vasta gama de produtos e soluções, tais como, portas; envidraçados; cortinas de fumo e fogo, exdutores e clarabóias, selagens corta-fogo; argamassas, entre outras soluções na área da Proteção Contra Incêndios.

A TRIA é certificada segundo a *International Organization for Standardization (ISO) 9001:2015* e *ISO 14001:2015 – Sistemas de Gestão Ambiental*. Com um Sistema de Gestão da Qualidade certificado desde 2003, a TRIA inclui todas as suas áreas de intervenção num rigoroso sistema de auditorias que visam controlar e contribuir para a melhoria contínua da qualidade.

Somos uma referência no mercado com base no nosso compromisso com a criação de valor, desde a pesquisa e desenvolvimento de produtos e soluções inovadoras até a sua certificação, produção e suporte ao cliente, com o único objetivo de garantir a segurança de pessoas e edifícios.”

A empresa tem uma presença consolidada na Europa, com escritórios estratégicos em Portugal, Espanha, Alemanha e França. A partir destas localizações, desenvolvem soluções inovadoras e personalizadas, que permitem estar presentes em mais de 40 países por todo o mundo.

## **1.5 Apresentação do Grupo TESTA**

“Fundado em 2017, o Grupo TESTA é uma holding que procura assegurar o desenvolvimento a longo prazo de cada uma das suas Empresas, orientando e disponibilizando os recursos necessários para que tenham um impacto positivo em todos os mercados em que atuam. [2]”

### **1.5.1 Valores, Missão e Visão do Grupo**

O Grupo sustenta e apoia o desenvolvimento de cada empresa que o compõe, preservando assim a sua identidade e autonomia, e disponibilizando todos os recursos necessários para que cada uma delas alcance um impacto nos mercados em que opera. Este compromisso é orientado por valores fundamentais que guiam as ações de todos os colaboradores, refletindo a dedicação à excelência, ao respeito e à confiança que clientes e parceiros depositam no grupo.

### 1.5.1.1 Valores Fundamentais do Grupo

As nossas ações são pautadas por um conjunto de valores fundamentais, partilhados por todas as empresas do Grupo:

- **Ética e Responsabilidade Corporativa:** Mantém um compromisso inabalável com os mais altos padrões de ética e responsabilidade, garantindo práticas transparentes e justas;
- **Inovação:** Procura constante de soluções criativas e tecnológicas que atendam tanto às necessidades atuais como futuras;
- **Excelência:** A excelência deve estar presente em cada etapa do processo, desde o desenvolvimento até a entrega dos produtos e serviços;
- **Espírito de Liderança e Empreendedorismo:** Encorajamos o desenvolvimento de líderes e a promoção de uma cultura empreendedora que valorize a iniciativa e a criação de valor;
- **Responsabilidade Social e Ambiental:** Comprometemo-nos com o impacto positivo nas comunidades e no ambiente, promovendo práticas sustentáveis e de responsabilidade social nas diversas operações;
- **Formação e Desenvolvimento Profissional:** Investimos continuamente no crescimento e na capacitação dos nossos colaboradores, promovendo o desenvolvimento de competências essenciais para o sucesso pessoal e profissional de cada um.

### 1.5.1.2 Missão

A nossa missão é ser um líder de referência no atendimento ao cliente, assegurando que as necessidades dos nossos clientes são atendidas com excelência. Para isso, dedicamos tempo e recursos para compreender a fundo as suas expectativas, aplicando o nosso conhecimento setorial, a experiência de fabricação e o know-how técnico. Estamos comprometidos em oferecer produtos e serviços que não apenas satisfaçam, mas superem as expectativas dos nossos clientes, agregando valor e garantindo a sua satisfação a longo prazo.

### 1.5.1.3 Visão

A nossa visão de longo prazo assenta na convicção de que o investimento contínuo em tecnologia e inovação é essencial para o nosso sucesso. Por meio de investigação e desenvolvimento, aperfeiçoamos os nossos produtos e serviços, posicionando-nos um passo à frente nos setores onde atuamos. Almejamos ser reconhecidos como um grupo que impulsiona a transformação e lidera com inovação, proporcionando valor sustentável e permanecendo na vanguarda das áreas de negócio que abraçamos.

“O compromisso com a responsabilidade social e ambiental está intrinsecamente ligado à responsabilidade ética que as empresas do Grupo têm em qualquer país em que operam. A

proteção do meio ambiente vem, em primeiro lugar, pelo respeito pelos recursos naturais que usamos para fabricar os nossos produtos. A nossa responsabilidade social envolve garantir a integridade e o respeito das pessoas no local de trabalho. Temos tolerância zero para comportamentos antiéticos e desonrosos que coloquem em causa qualquer direito humano.”

#### **1.5.1.4 Áreas de negócio**

O Grupo oferece uma ampla variedade de soluções em diversas áreas de negócio, com foco na qualidade, inovação e segurança. Com um portfólio abrangente, estamos comprometidos em atender às necessidades dos nossos clientes em diferentes setores, tais como:

- **Soluções de Ventilação Natural, Desenfumagem e Luz Natural:** Desenvolvemos, produzimos e fornecemos uma vasta gama de soluções certificadas para ventilação natural, extração de fumos e ar quente, luz natural e proteção contra incêndios;
- **Cortinas de Fogo e Fumo:** Fornecemos cortinas certificadas para a contenção de fogo e fumo, contribuindo para a segurança de edifícios e ocupantes;
- **Portas Técnicas: Corta-Fogo, Acústicas, Segurança, Anti-bala, Envidraçados Corta-Fogo:** Desenvolvemos, fabricamos e fornecemos uma ampla gama de portas técnicas, certificadas segundo as normas europeias, onde a componente de proteção está intrinsecamente ligada ao design;
- **Proteção Passiva Contra Incêndios:** Desenvolvimento, produção, comercialização e manutenção de sistemas de proteção passiva contra incêndios, incluindo selagens corta-fogo, argamassas corta-fogo, tintas intumescentes, firewalls e condutas de desenfumagem;
- **Produtos Termorresistentes:** Comercializamos soluções de produtos termorresistentes, projetados para suportar condições extremas de temperatura;
- **Mobiliário e Fit-out:** Manufatura especializada em móveis, estofamento e marcenaria sob medida para hotéis e projetos residenciais de luxo em todo o mundo;
- **Mercado Grossista e Retalho:** Operamos no mercado grossista e no retalho de eletrodomésticos, oferecendo produtos de alta performance para consumidores finais e empresas;



Figura 1.1: Instalações Grupo TESTA.



Figura 1.2: Instalações Grupo TESTA.



Figura 1.3: Instalações Grupo TESTA.

## 1.6 Objetivos do estágio

O principal objetivo deste estágio passa por desenvolver um sistema IoT robusto e eficiente para monitorização e controlo de tanques de água contaminada no parque industrial do Grupo TESTA.

Para alcançar este propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma análise de componentes integrantes do sistema como os sensores, micro-controladores e plataformas IoT, que consigam assim garantir uma escolha adequada em termos de custo, eficiência e robustez;
- Estabelecer e definir os requisitos do sistema, bem como projetar uma arquitetura modular que assegure escalabilidade, confiabilidade e baixo custo de manutenção;
- Criar dashboards interativos na plataforma IoT para visualização em tempo real dos níveis dos tanques, além de configurar alertas automáticos para situações de níveis críticos;
- Realizar testes piloto para validar o funcionamento do sistema em condições reais;
- Explorar a utilização de algoritmos preditivos para prever padrões de funcionamento dos tanques, otimizando a gestão e planeamento dos recursos disponíveis;
- Realizar documentos detalhados de todo o processos de desenvolvimento, instalação e manutenção do sistema.

## 1.7 Apresentação do Departamento de Informática

O Departamento de Informática do Grupo TESTA é responsável por fornecer suporte e serviços tecnológicos a diversas empresas do Grupo. No entanto, o seu foco diário e o contacto

direto concentram-se, maioritariamente, nas empresas TRIA, LWC, BACH e KOR, que exigem uma atenção contínua e cuidadosa no que se refere à gestão e otimização de recursos informáticos.

Localizado nas instalações do Grupo TESTA em Mortágua, o Departamento de Informática integra-se na proximidade com os departamentos de "Marketing", Qualidade e Segurança no Trabalho. A equipa de informática ocupa um escritório dedicado e isolado dos restantes departamentos, onde dispõe de todas as infraestruturas e condições necessárias para garantir a máxima eficiência no desempenho das suas funções.

Embora a equipa de informática seja de pequena dimensão, destaca-se pela sua eficiência e capacidade de resposta. É composta por três elementos com funções bem definidas. Um "backend developer", um técnico de informática e um "IT Manager". O "backend developer" é responsável por todas as operações que envolvem bases de dados, gestão de ficheiros e transações de dados, assegurando que a infraestrutura e os diversos processos de integração entre os sistemas funcionem de forma estável e segura. O técnico de informática, por sua vez, é especializado mais na área de "hardware", onde cuida da manutenção e da resolução de problemas técnicos em equipamentos como computadores, dispositivos móveis, discos rígidos e sistemas operativos, entre outros, garantindo o suporte diário aos diversos dispositivos das empresas do Grupo TESTA. O "IT Manager" supervisiona a equipa e é responsável pela tomada de decisões estratégicas, assegurando que as soluções implementadas estejam alinhadas com os objetivos do Grupo, e que a equipa disponha de recursos e orientações para alcançar os melhores resultados.

O Departamento de Informática permite uma abordagem prática e direta na resolução de problemas e implementação de soluções, sendo um dos pontos essenciais para o funcionamento e inovação tecnológica do Grupo TESTA.

# Capítulo 2

## Planeamento

O planeamento é uma das etapas essenciais em todos os projetos, facilitando assim uma maior organização das diferentes fases de um projeto, promovendo uma execução eficiente e estruturada.

Para o projeto desenvolvido durante este estágio, foi utilizado um gráfico "Gantt" como ferramenta principal de planeamento, visando visualizar de forma clara todas as tarefas a realizar e o seu cronograma.

No gráfico, encontram-se definidos marcos importantes, como o levantamento de ideias iniciais, a escolha de sensores e microcontroladores, a conceção da arquitetura do sistema, bem como a implementação e os testes finais.

Posto isto, o capítulo detalha todos os principais pontos definidos no gráfico, dividindo assim as tarefas em categorias específicas que refletem o progresso natural do projeto, desde a fase de planeamento até à entrega final.

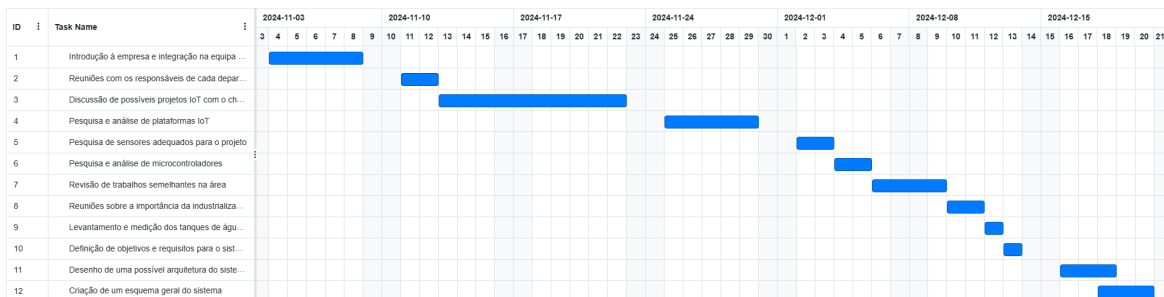


Figura 2.1: Gráfico Gantt desde o início do estágio até à interrupção letiva do natal.

### 2.1 Introdução à empresa e integração na equipa de informática.

A integração inicial na empresa foi fundamental para compreender e adaptar-me às dinâmicas organizacionais do Grupo Testa. Durante esta fase, participei em várias reuniões introdutórias onde foram apresentados os valores, a missão e a visão da empresa, bem como os seus principais processos industriais e administrativos.

Foi realizada uma visita às instalações e às fábricas do parque industrial do Grupo Testa, permitindo-me observar de perto as operações diárias e identificar potenciais áreas onde as soluções de IoT poderiam ser implementadas.

Fui apresentado à equipa de informática, com quem trabalharia diretamente durante o estágio. Este momento foi essencial para conhecer os responsáveis pelas diferentes áreas de TI e compreender como o departamento se articula com os restantes setores da empresa.

## **2.2 Reuniões com os responsáveis de cada departamento.**

Nesta fase, o objetivo era realizar reuniões com os responsáveis de diversos departamentos do Grupo Testa com o objetivo de explorar possíveis ideias e identificar áreas que poderiam beneficiar da implementação de soluções IoT.

Como é normal, é difícil conjugar o tempo para reunir com todos os chefes de cada departamento. Posto isto, estas reuniões foram fundamentais para compreender as necessidades específicas de cada setor, os desafios enfrentados no dia a dia e os processos que poderiam ser otimizados com o uso de tecnologia.

Surgiram sugestões de projeto, incluindo o uso de sensores para monitorizar o consumo de recursos, sistemas de monitorização de equipamentos industriais e soluções voltadas para a gestão eficiente de materiais. Cada departamento apresentou a sua perspetiva, destacando problemas que poderiam ser abordados de forma prática e eficiente.

## **2.3 Discussão de possíveis projetos IoT com o chefe de IT.**

O objetivo destas reuniões foi analisar e avaliar as sugestões apresentadas, tendo em conta a viabilidade técnica, o impacto nas operações e os recursos disponíveis.

Foram debatidos diversos cenários e propostas, incluindo a implementação de sensores para monitorização de equipamentos industriais, sistemas para otimização do fluxo de materiais e soluções para supervisão remota de áreas críticas. A experiência do chefe de IT foi essencial para identificar os projetos mais promissores.

Esta etapa foi fundamental para refinar as ideias iniciais e direcionar os esforços para o desenvolvimento de um projeto viável.

## **2.4 Pesquisa e análise de plataformas IoT.**

Um dos requisitos da empresa era a integração do projeto com uma plataforma IoT. O objetivo desta fase foi identificar ferramentas e tecnologias que fossem capazes de integrar e

gerir os dados recolhidos pelos sensores, disponibilizando uma “interface” para visualização e monitorização em tempo real.

Durante esta pesquisa, foram analisadas várias plataformas disponíveis no mercado, como ThingsBoard, AWS IoT, Microsoft Azure IoT Hub e Google Cloud IoT, entre outras.

Os pontos de maior foco foram: escalabilidade, facilidade de integração, custo, funcionalidades oferecidas, robustez e confiabilidade.

Esta etapa foi crucial para garantir que o sistema IoT fosse construído sobre uma base sólida e confiável, capaz de atender às exigências da empresa e permitir uma supervisão eficiente do projeto.

## **2.5 Pesquisa de sensores adequados para o projeto.**

Nesta etapa, foi realizada uma pesquisa aprofundada para identificar os sensores mais adequados às necessidades do projeto, considerando os requisitos funcionais e as condições ambientais em que seriam instalados.

O foco principal foi encontrar sensores capazes de monitorizar o nível de água contaminada nos tanques localizados em diferentes áreas da fábrica. Dado que o ambiente é industrial, os sensores precisavam de ser robustos, resistentes à humidade, à poeira e a possíveis vibrações. Os principais critérios a ter em conta seriam a precisão nas medições, resistência, ligação, custo-benefício e a facilidade de integração.

## **2.6 Pesquisa e análise de microcontroladores.**

Após a definição das necessidades do projeto e das características dos sensores, foi realizada uma pesquisa detalhada para seleccionar o microcontrolador mais adequado.

O microcontrolador desempenha um papel fundamental no sistema, uma vez que é responsável por recolher os dados dos sensores, processá-los e enviá-los para a plataforma IoT.

Os principais critérios considerados foram a compatibilidade com os sensores, ligação, eficiência energética, custo e facilidade de programação.

## **2.7 Revisão de trabalhos semelhantes na área.**

Uma etapa importante do planeamento envolveu a revisão de trabalhos e projetos relacionados com soluções IoT, nomeadamente em ambientes industriais e não só. Este processo

permitiu compreender as melhores práticas, evitar potenciais armadilhas e encontrar inspiração em soluções já implementadas.

Além disso, foi dada ênfase a projetos que abordavam desafios comuns na indústria, como robustez, eficiência energética, estanquidade e escalabilidade.

## **2.8 Reuniões sobre a importância da industrialização e robustez do sistema.**

Durante o planejamento do projeto, foram realizadas reuniões com o chefe de IT e outros responsáveis para discutir a importância da industrialização e robustez do sistema.

Nessas discussões, foram destacados pontos essenciais, como a durabilidade dos componentes, com prioridade para materiais resistentes em ambientes adversos, estanquidade e proteção contra água e poeira, e substituições fáceis de componentes.

Além disso, a viabilidade econômica foi discutida, equilibrando robustez e custo para assegurar uma solução acessível e sustentável.

## **2.9 Levantamento e medição dos tanques de água contaminada.**

Como parte do planejamento do projeto, foi realizado o levantamento e medição dos tanques de água contaminada presentes na fábrica.

Este processo envolveu a identificação da localização exata dos tanques, a medição das suas dimensões e a avaliação das condições do ambiente ao redor, como iluminação, humidade e acessibilidade.

## **2.10 Definição de objetivos e requisitos para o sistema IoT.**

O foco foi estabelecer uma solução que garantisse a monitorização eficiente e em tempo real dos níveis de água contaminada nos tanques.

Para isso, identificaram-se as necessidades específicas, como a utilização de sensores ultrasónicos pela sua precisão, a integração com plataformas IoT para gestão e visualização dos dados, e a robustez do sistema para operar em ambientes industriais.

Também foram discutidos requisitos adicionais, como a necessidade de estanquidade, a modularidade para facilitar futuras expansões e a simplicidade na manutenção.

## 2.11 Desenho de uma possível arquitetura do sistema.

Nesta etapa, foi concebido um desenho inicial de uma arquitetura do sistema, com o claro objetivo de visualizar e estruturar a solução de forma clara e eficiente.

O desenho incluiu a disposição dos sensores nos tanques, a conexão com microcontroladores para recolha e envio de dados, e a integração com a plataforma IoT escolhida para visualização e monitorização.

## 2.12 Criação de um esquema geral do sistema.

Este esquema incluiu todos os componentes principais, como os sensores ultrassónicos posicionados nos tanques, os microcontroladores responsáveis pela recolha e transmissão de dados, e o quadro elétrico que centraliza a alimentação e organização do sistema. Também foram detalhadas as ligações entre os dispositivos, incluindo os cabos USB-A, escolhidos pela sua facilidade de substituição em caso de falha.

Este diagrama foi fundamental para validar a disposição dos componentes e assegurar a coerência entre os diferentes elementos do projeto.

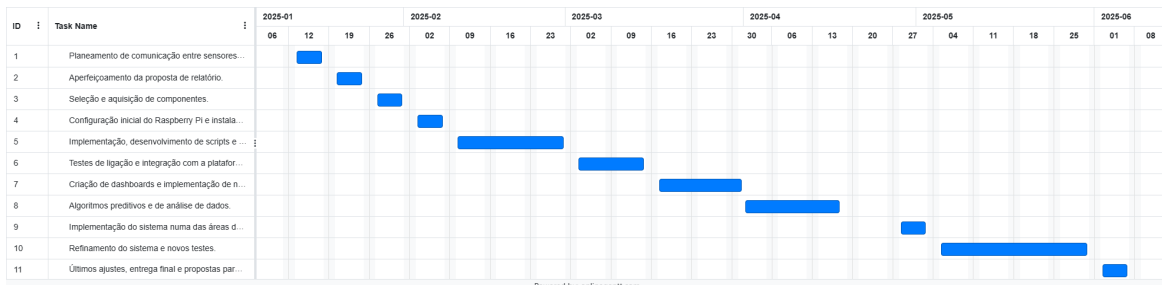


Figura 2.2: Gráfico Gantt desde o início de janeiro até ao fim estágio.

## 2.13 Planeamento de comunicação entre sensores, microcontroladores e plataforma

Nesta etapa, será definido como os sensores irão comunicar com os microcontroladores e, posteriormente, como estes irão transmitir os dados recolhidos para a plataforma IoT, que no caso é a ThingsBoard.

Serão analisados diversos protocolos de comunicação que podem ser adequados para o projeto. Esta etapa é crucial para garantir uma troca de dados eficiente, com baixa latência e alta fiabilidade, considerando os recursos disponíveis no *hardware* utilizado.

## **2.14 Aperfeiçoamento da proposta de relatório.**

Aqui será realizada uma revisão mais detalhada da proposta de relatório, garantindo que os objetivos, metodologia e resultados esperados do projeto estejam claramente definidos e organizados.

Será incluída uma descrição do Grupo TESTA e da empresa Tria, Engenharia de *Software*, assim como a arquitetura do sistema e as tecnologias selecionadas.

## **2.15 Seleção e aquisição de componentes.**

Esta tarefa envolve a identificação e escolha dos componentes necessários para a implementação do sistema IoT, como sensores, microcontroladores, cabos, entre outro tipo de materiais.

A seleção será feita com base nas necessidades previamente definidas, considerando fatores como compatibilidade, custo, durabilidade e eficiência energética.

## **2.16 Configuração inicial do Raspberry Pi e instalação do sistema operativo.**

Nesta tarefa, será realizada a configuração do Raspberry Pi de forma a estar totalmente preparado para o projeto, incluindo a instalação do sistema operativo adequado e todos os seus dependentes.

Também serão ajustados parâmetros essenciais, como a configuração de rede, atualizações de *software* e permissões.

## **2.17 Implementação, desenvolvimento de scripts e testes iniciais.**

Nesta fase, serão desenvolvidos os *scripts* necessários para comunicação entre os sensores e o Raspberry Pi.

São responsáveis pela recolha, processamento e transmissão dos dados.

Após o desenvolvimento, serão realizados testes iniciais para verificar a funcionalidade dos sensores, validar a precisão dos dados recolhidos e ajustar eventuais configurações.

## **2.18 Testes de ligação e integração com a plataforma ThingsBoard.**

Aqui, será feita a integração do Raspberry Pi com a plataforma ThingsBoard, utilizando protocolos como o *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) para comunicação.

Serão realizados testes para garantir que os dados provenientes dos sensores estão a ser transmitidos corretamente e apareçam na plataforma.

### **2.19 Criação de dashboards e implementação de notificações.**

Nesta tarefa, serão criados dashboards na plataforma ThingsBoard para visualização e compreensão dos dados recolhidos, permitindo uma análise clara e intuitiva.

Serão implementadas notificações automáticas, como alertas por correio eletrónico ou mensagens, com base em condições predefinidas.

### **2.20 Algoritmos preditivos e de análise de dados.**

São explorados e implementados algoritmos preditivos e de análise de dados, para prever situações críticas relacionadas ao nível dos tanques.

Os algoritmos serão treinados e testados com os dados recolhidos, permitindo identificar padrões, prever tendências e tomar decisões proativas com base nos resultados.

### **2.21 Implementação do sistema numa das áreas do parque industrial.**

Após os testes e as validações necessárias, o sistema será então implementado numa das áreas selecionadas do parque industrial.

Esta etapa inclui a instalação física dos sensores e do microcontrolador, além da configuração final do sistema para monitorizar os tanques no ambiente real.

### **2.22 Refinamento do sistema e novos testes.**

Com base nos resultados da implementação inicial, serão realizados refinamentos no sistema, incluindo ajustes no *hardware*, *software* e *dashboards* na plataforma.

Serão conduzidos novos testes para verificar a estabilidade, precisão e eficiência do sistema, garantindo funciona de forma robusta em ambiente real.

### **2.23 Últimos ajustes, entrega final e propostas para possíveis melhorias.**

Nesta fase final, serão realizados os últimos ajustes no sistema, garantindo que tudo esteja a funcionar corretamente.

O projeto será documentado, preparado para entrega, incluindo a entrega do relatório final.



# Capítulo 3

## Estado da Arte

### 3.1 Introdução

A empresa Tria e o Grupo TESTA, sem experiência prévia com tecnologias IoT, definiram como um dos primeiros requisitos para o projeto a exploração de plataformas IoT já estabelecidas no mercado. Essa análise inicial permitiria avaliar as soluções já existentes e escolher uma plataforma adequada e compatível tanto com as necessidades específicas do projeto como alinhadas aos objetivos da empresa.

Posto isto, antes da fase de planificação e da exploração detalhada das ideias, foi essencial proceder a uma análise comparativa de diversas plataformas IoT, levando em conta critérios como escalabilidade, facilidade de integração, segurança dos dados, suporte a múltiplos dispositivos, e a capacidade de adaptação ao contexto da empresa. Esta análise preliminar visa garantir uma base sólida, facilitando a posterior implementação e desenvolvimento das funcionalidades previstas para o projeto.

Dessa forma, o estudo realizado incluiu a avaliação de diferentes plataformas no mercado, cujos resultados estão expostos a seguir.

### 3.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT), ou Internet das Coisas em português, refere-se à rede integrada de dispositivos, que por meio de tecnologias avançadas, permite a comunicação não só dispositivos e a nuvem, mas também a interação direta entre os diversos dispositivos. Com o sucessivo desenvolvimento de "chips" e "microcontroladores" de baixo custo e os avanços nas telecomunicações, atualmente temos uma grande panóplia de dispositivos comuns ligados à Internet, possibilitando que objetos do nosso cotidiano, como eletrodomésticos, automóveis e máquinas industriais, utilizam sensores para recolher dados de forma inteligente e os consigam tratar para mais tarde serem apresentados aos utilizadores.

A Internet das Coisas insere-se no grande universo digital, ou seja, uma vasta gama de "coisas" anteriormente não conectadas, integrando-as na Internet para permitir uma ligação contínua e inteligente. Desde a década de 90, engenheiros informáticos exploram a adição de sensores e processadores a objetos comuns, no entanto, o progresso inicial foi bastante limitado pelo tamanho dos dispositivos em si e o elevado custo dos "chips". Tecnologias de baixo consumo, como as etiquetas RFID (Radio Frequency Identification), foram inicialmente utilizadas para controlar a localização de equipamentos, proporcionando assim as primeiras

aplicações do conceito de IoT. Com o avanço da tecnologia o objetivo passa por cada vez mais compactar os dispositivos, os processadores tornaram-se progressivamente mais pequenos, poderosos, rápidos e acessíveis, o que permite a sua aplicação de uma forma mais abrangente.

À medida que o custo de integração vai a diminuir, objetos de pequena escala como a Alexa permitem a integração com microcontroladores que possibilita a automação de tarefas diárias entre outras coisas interessantes. Este progresso deu origem a um setor específico focado em equipar casas, empresas e locais de trabalho com diversos dispositivos IoT, que podem tanto transmitir como receber dados de forma autónoma pela Internet, formando uma rede de “dispositivos computacionais invisíveis” que operam quase de forma impercetível para os utilizadores. Este tipo de rede e tecnologias, constituem o conceito de Internet das Coisas, permitindo que o ambiente seja controlado e adaptado automaticamente em resposta às interações que os utilizadores executam ou ao ambiente em que estão inseridos.

Com potencial para transformar diversos setores como a saúde, os transportes, a indústria e o dia a dia dos utilizadores. No entanto, também coloca diversos novos desafios e oportunidades, especialmente no que diz respeito à segurança, privacidade e gestão de grandes volumes de dados, aspetos fundamentais para o desenvolvimento sustentável desta tecnologia.

### **3.3 Plataformas IoT**

#### **3.3.1 Thingsboard**

A Internet das Coisas (IoT) tem proporcionado avanços significativos na fiscalização e no controlo de sistemas, e o *ThingsBoard* [3] é uma plataforma que exemplifica a versatilidade e eficiência na gestão dos diversos dispositivos IoT. Esta plataforma “open-source” facilmente consegue-se recolher dados, visualização e gestão dos dados em diferentes aplicações IoT, oferecendo *Application Programming Interface* (API)s RESTful e uma interface de utilizador bastante abrangente, que permite gerir diferentes tipos de entidades, como dispositivos, clientes e ativos.

No *ThingsBoard*, a estrutura de dados organiza-se por meio de entidades distintas, como “inquilinos”, que representam uma organização ou pessoas responsáveis por ativos e dispositivos, oferecendo uma estrutura que permite gerir uma abundância de clientes e dispositivos. Estas entidades são tratadas num sistema que suporta *Structured query language* (SQL), com uma preferência pelo PostgreSQL, garantindo flexibilidade e desempenho adequado. A plataforma também oferece uma implementação híbrida de bases de dados, mas a utilização do *Not Only SQL* (NoSQL) é recomendada para casos específicos, apesar das limitações em operações que sejam mais complexas.

Outro aspeto crucial da plataforma é o motor de regras, que, no fundo, é o “cérebro” da plataforma e é responsável pelo tratamento de mensagens provenientes dos dispositivos IoT a ele ligados. Este mecanismo de regras pode operar tanto em modo partilhado ou isolado,

permitindo uma adaptação a diferentes configurações de operação.

O *ThingsBoard* também facilita a gestão segura dos diversos dispositivos a que está ligado, oferecendo uma camada de segurança que exige credenciais dos dispositivos para garantir a comunicação segura com o servidor. A plataforma suporta diversos métodos de autenticação, com *tokens* de acesso e modos de autenticação por *Secure Sockets Layer* (SSL), assegurando a integridade dos dados. Em termos de ligações e escalabilidade, o "ThingsBoard" destaca-se pela sua capacidade de integração com mais de 500.000 dispositivos, ligando-se via protocolos como MQTT, *Simple Network Management Protocol* (SNMP), e *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), e suportando *gateways* como BLE e Modbus para integração com redes locais. Além disso, o sistema de visualização de dados permite a criação de vários "dashboards" interativos, com gráficos, mapas e *widgets* personalizáveis que facilitam a análise de dados e é apelativo ao olho do utilizador.

Esta combinação de segurança, flexibilidade e escalabilidade faz do *ThingsBoard* uma plataforma IoT bastante robusta e adaptável para empresas que procuram implementar soluções de fiscalização e controlo de dispositivos a uma escala significativa, sendo uma escolha recomendada para projetos em ambientes industriais e empresariais.

Esta plataforma oferece duas versões principais, uma gratuita e outra paga, de seu nome *Community* e *Enterprise* respetivamente.

A versão gratuita é *open source* ideal para projetos de tamanho mais modesto ou projetos com o propósito académico, oferecendo funcionalidades como gestão de dispositivos IoT, painéis de alta personalização ao gosto do utilizador e um motor de regras mais básico.

A versão paga oferece mais e melhor infraestrutura e suporte técnico, projetada para aplicações comerciais e empresariais, com suporte a milhões de dispositivos, alta escalabilidade, segurança avançada, *clusters* distribuídos e suporte técnico dedicado.

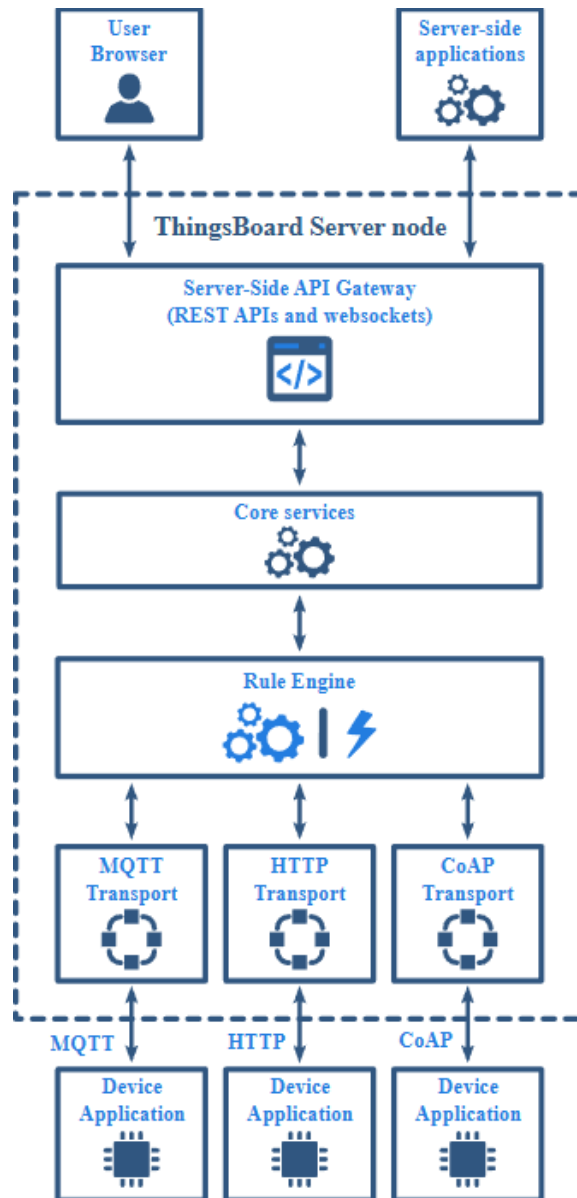


Figura 3.1: Arquitetura do Thingsboard. Fonte: [Link para o diagrama](#).

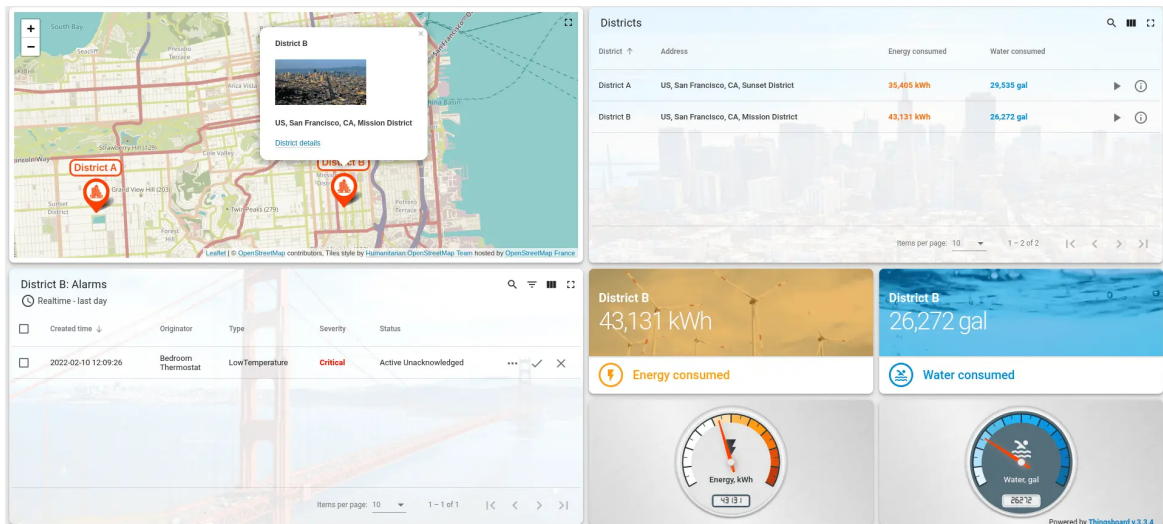


Figura 3.2: Desenho de um painel de dashboards do Thingsboard. Fonte: Link para o dashboard.

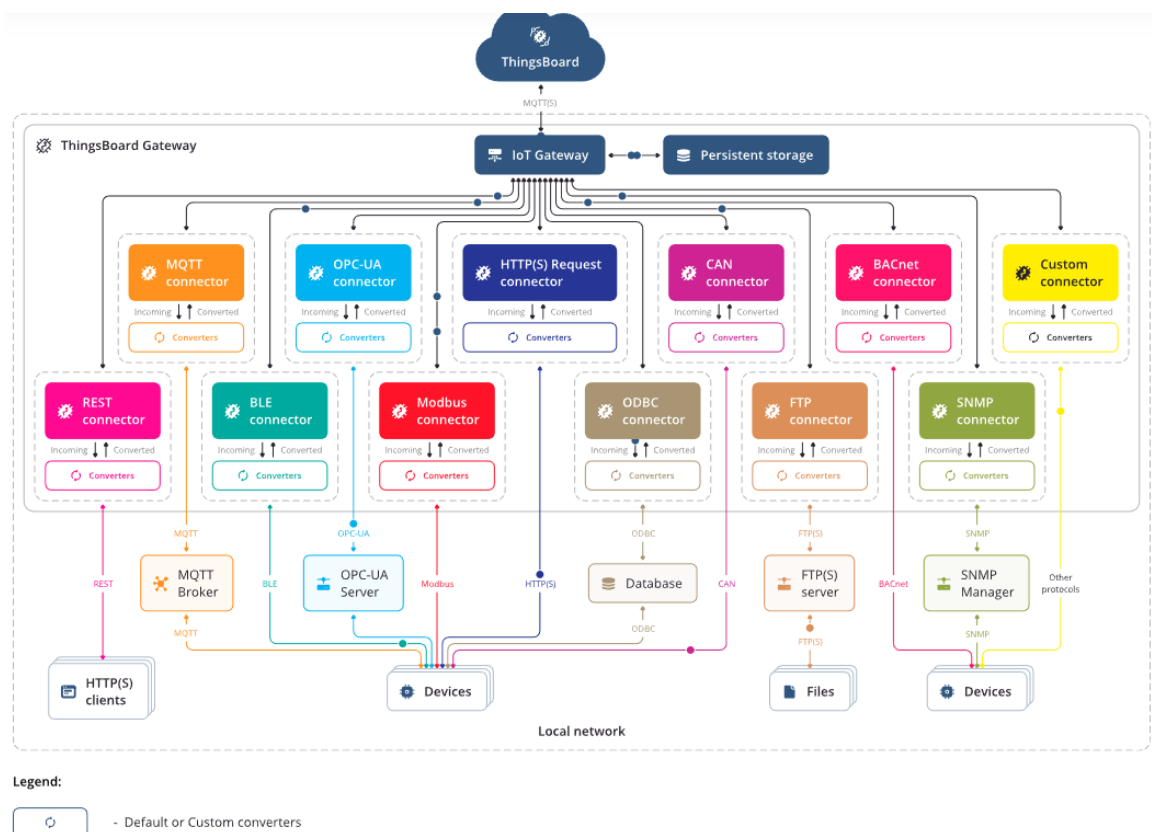


Figura 3.3: Esquema de funcionamento do gateway do Thingsboard. Fonte: Link para a imagem.

### 3.3.1.1 Blynk

*Blynk* [4] é uma plataforma para a criação tanto de aplicações para dispositivos móveis como aplicações *web* para os diversos dispositivos IoT, o que simplifica significativamente todo o processo de criação de aplicações personalizadas à medida de cada utilizador sem a necessidade de programação avançada, pois a *Blynk* é uma plataforma *low code*.

Originalmente lançado como uma solução para protótipos IoT, a *Blynk* evoluiu para uma plataforma bastante escalável e poderosa que consegue suportar desde projetos individuais mais simples até aplicações empresariais em larga escala.

A *Blynk* é amplamente utilizada em diversos setores, incluindo domótica, controlo industrial, agricultura e cidades inteligentes, devido à sua flexibilidade e facilidade de integração.

Um dos principais atributos da *Blynk* passa pela implementação simples e eficaz de dispositivos físicos à nuvem. A plataforma permite uma ampla ligação de dispositivos de diferentes fabricantes e suporta vários protocolos de comunicação padrão, como o MQTT, HTTP, Web-Socket e LoRaWAN. Esta compatibilidade torna a *Blynk* uma escolha viável para diversos projetos IoT.

Permite a criação de aplicações móveis tanto para iOS como Android, bem como aplicações *web*, para o controlo dos dispositivos remotamente. Estas aplicações podem ser configu-

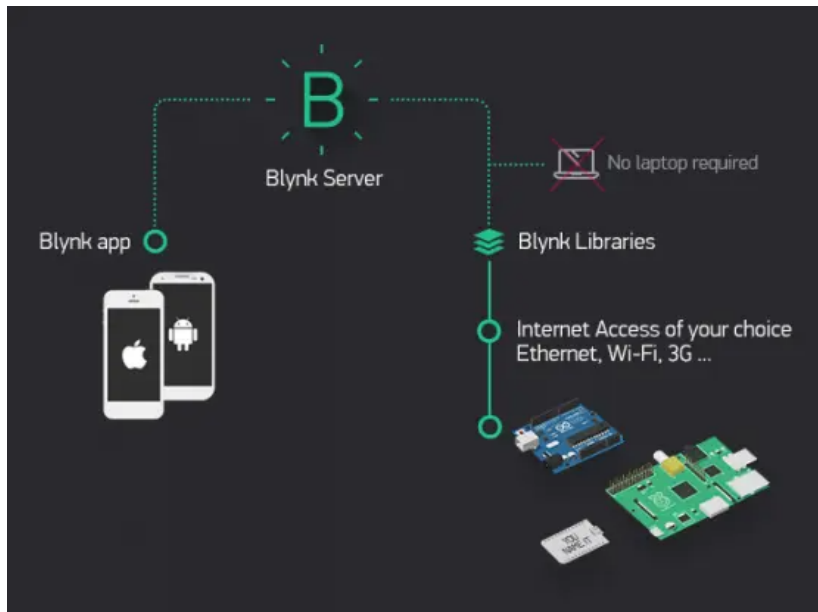


Figura 3.4: Esquema Geral de como funciona Blynk: [Link para a imagem.](#)

radas de forma intuitiva, utilizando *widgets* criados à medida que oferecem vários tipos de gráficos, indicadores, botões de controlo, notificações entre outras características.

A plataforma é amplamente compatível com diversos microcontroladores utilizados nesta área, como, por exemplo, ESP32, *Arduino*, *Raspberry Pi*, entre muitos outros. Disponibiliza uma base de dados integrada que permite armazenar e visualizar os dados de telemetria em tempo real ou histórico dos mesmos.

A escalabilidade é um ponto importantíssimo da plataforma, projetada para crescer com as necessidades dos utilizadores ao longo do tempo, a *Blynk* suporta desde projetos mais modestos até soluções empresariais de grande escala. A plataforma consegue gerir milhões de dispositivos IoT simultaneamente, garantindo assim um desempenho viável e estável.

A *Blynk* tem implementado diversas medidas de segurança para proteger tanto os dispositivos como os dados dos utilizadores que usam a plataforma. Algumas delas são:

- Autenticação por *tokens* dinâmicos ou estáticos;
- Criptografia de comunicações entre *endpoints*;
- Atualizações de *firmware* OTA (Over-The-Air);
- Fiscalização permanente de possíveis incidentes ou erros na nuvem.

O *Blynk* oferece uma ampla gama de protocolos de comunicação, incluindo:

- **MQTT**: ideal para aplicações IoT devido à sua eficiência em ambientes de baixa largura de banda;
- **HTTP**: comunicação baseada em pedidos *web*;

- **WebSocket:** para comunicação bidirecional em tempo real;
- **LoRaWAN:** protocolo sem fios para dispositivos de baixo consumo energético, especialmente útil em ambientes remotos;
- **Redes móveis:** comunicação como 4G e 5G;
- **Ethernet:** maior estabilidade e segurança.



Figura 3.5: Esquema ilustrativo dos pontos positivos do funcionamento do Blynk: [Link para a imagem.](#)

### 3.3.1.2 Node-RED

O *Node-RED* [5] é uma ferramenta de programação, *open source*, que permite desenvolver e tratar fluxos de informação de uma forma simples e visual de modo a facilitar a sua utilização pelos utilizadores

*Node-RED* inicialmente criado pela empresa IBM Emerging Technology e mantida pela sua grande comunidade ao redor do mundo, é atualmente gerido pela JS Foundation.

O *Node-RED* tem por objetivo a simplificação da automação, integração de sistemas e construção de fluxos de trabalho, na área de IoT é amplamente usado e implementado nos diversos projetos, pois fornece serviços de integração de APIs e automação de processos industriais.

O *Node-RED* disponibiliza aos seus utilizadores uma interface visual simples na qual lhes é permitida a criação de aplicações conectando contentores ou blocos a que lhes é dado o nome de "nós". Estes "nós" representam ações ou tarefas especificadas pelo utilizador, como receber dados de sensores, processar informações, enviar notificações ou integrar sistemas externos. Os fluxos criados através desta ligação de "nós" são intuitivos e não necessitam de conhecimentos avançados de programação para os configurar, no entanto, também é permitida a inclusão de funções personalizadas em JavaScript, caso o utilizador assim o desejar.

A plataforma inclui uma extensa biblioteca de "nós" prontos para o seu uso, compatível com a integração de APIs, protocolos IoT como MQTT, HTTP e WebSocket, bases de dados e sistemas em nuvem.

Em IoT o *Node-RED* é uma ferramenta amplamente usada, bastante popular devido ao seu suporte nativo aos diversos protocolos IoT, como MQTT, CoAP e HTTP. O que torna o *Node-RED* uma ferramenta viável para a ligação de dispositivos, recolha de dados de sensores e enviar comandos a atuadores a eles ligados.

Também disponibiliza a integração de sistemas de nuvem com a ferramenta, tais como *AWS*, *Microsoft Azure* e *Google Cloud*. O que torna uma ferramenta viável para soluções que envolvam dados locais e remotos.

Desenvolvido em Node.js, o *Node-RED* beneficia de um desempenho eficiente e suporta uma arquitetura de execução assíncrona, ideal para lidar com fluxos de trabalho complexos. No entanto, a ferramenta pode ser viável tanto em projetos mais modestos como em projetos de maior escala e até mesmo a nível empresarial e industrial.

Vantagens do *Node-RED*:

- Facilidade de Uso;
- Flexibilidade;
- Comunidade Ativa;
- Código Aberto;

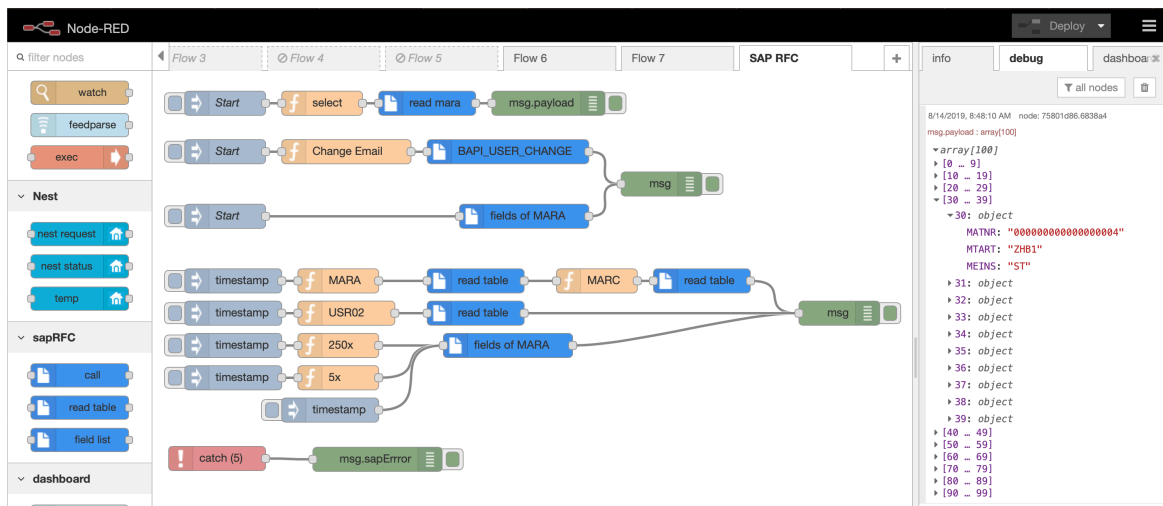


Figura 3.6: Desenho de como funciona o Node-RED: Link para a imagem.

### 3.3.1.3 Adafruit IO

A *Adafruit IO* [6] é uma plataforma de IoT desenvolvida pela *Adafruit* e tem como objetivo simplificar toda a infraestrutura de um projeto IoT, como, por exemplo, simplificar o armazenamento de dados, visualização e a interação entre os diversos dispositivos que estejam ligados. A plataforma destaca-se por uma abordagem mais simples e acessível, no entanto, funcional. Normalmente é mais usada para pequenos projetos de dimensão mais modesta ou para protótipos educacionais, por apaixonados e entusiastas de tecnologia.

A *Adafruit IO* permite que os dispositivos a ela ligados consigam ter uma ligação à nuvem, fornecendo assim ferramentas intuitivas e agradáveis de visualizar aos seus utilizadores. Permite que os dados sejam visualizados em tempo real ou armazenar os dados para à “posteriori” serem analisados.

O principal conceito da plataforma passa por implementar *feeds* que representam fluxos de dados associados a dispositivos ou sensores. Estes *feeds* são utilizados para registar e organizar informações, como, por exemplo, leituras de temperatura, níveis de humidade ou estados de dispositivos. Os utilizadores conseguem assim criar painéis personalizados a gostos dos mesmos, com gráficos, tabelas e *widgets* de forma a melhor favorecer a visualização do sistema implementado.

Um dos pontos-chave da plataforma *Adafruit IO* é a compatibilidade com protocolos amplamente utilizados pelo IoT, tais como, MQTT e HTTP que permite que dispositivos de diferentes fabricantes comuniquem entre si.

A integração da plataforma com microcontroladores como o ESP32 e *Raspberry Pi*, é permitido pelas bibliotecas disponibilizadas pela *Adafruit* que facilita o processo de ligação à plataforma. A segurança também é uma prioridade, sendo garantida por autenticação baseada em chaves API e criptografia *Transport Layer Security* (TLS), protegendo as comunicações

entre dispositivos e a nuvem.

Outra das funcionalidades mais notáveis, é a capacidade de automatizar ações baseado em condições específicas. A *Adafruit IO* permite configurar regras específicas para que certas ações sejam executadas automaticamente, como o envio de notificações ou a ativação direta de dispositivos.

A *Adafruit IO* está disponível em duas versões. A versão gratuita que oferece funcionalidades mais básicas, suficientes para projetos mais experimentais e de menor dimensão. A versão profissional, que disponibiliza mais recursos como mais espaço de armazenamento, mais “feeds” e maior taxa de atualização.

Esta plataforma é mais utilizada em projetos educacionais, prototipagem e monitorização remota. Desde a criação de estações meteorológicas ou sistemas de rega inteligentes até soluções de automação residencial. Apesar das suas vantagens, é importante destacar que a “Adafruit IO” é mais apropriada para projetos de pequena e média escala.

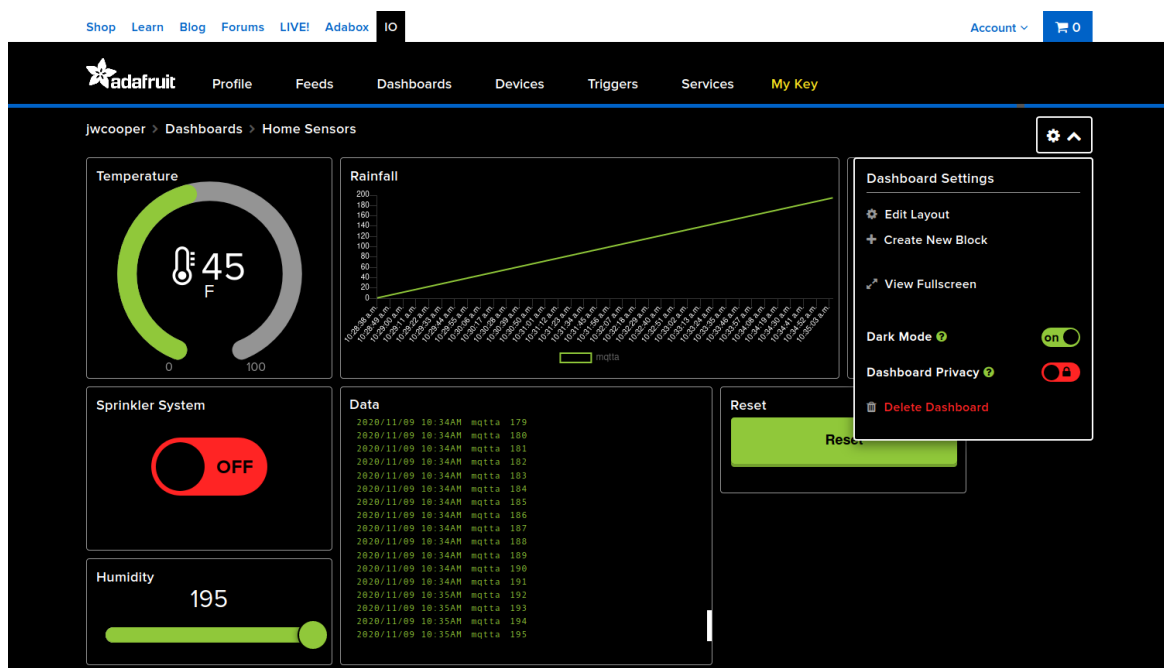


Figura 3.7: Representação de dashboards do Adafruit IO: Link para a imagem.

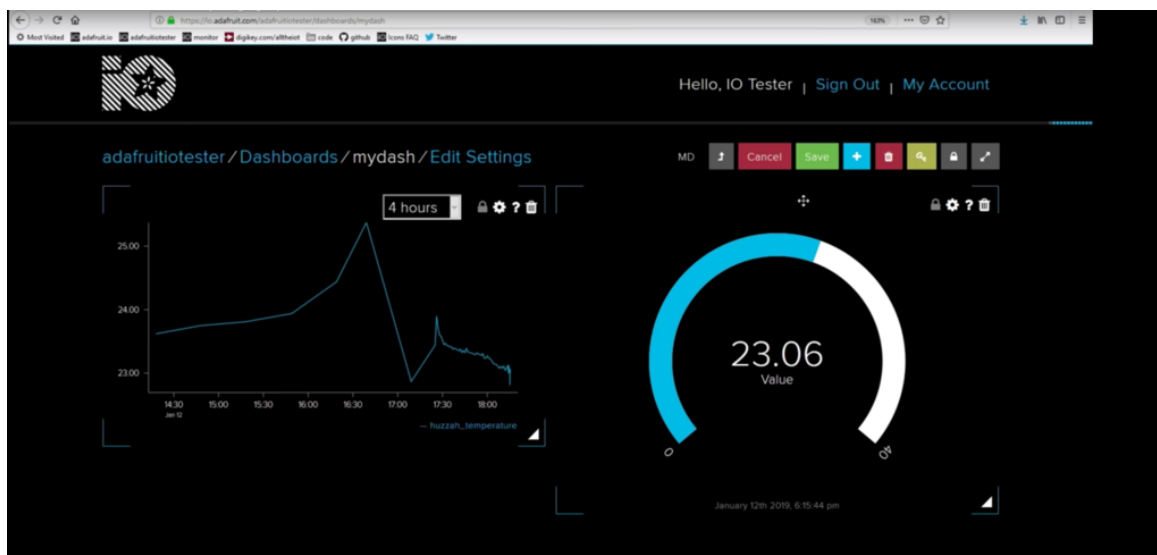


Figura 3.8: Representação de dashboards do Adafruit IO: Link para a imagem.

### 3.3.1.4 Ubidots

A *Ubidots* [7] é uma plataforma de IoT, que, no fundo, foi criada para facilitar tanto a criação como o desenvolvimento e gestão de soluções IoT que estejam ligadas entre si.

Amplamente utilizado por engenheiros, empresas e indústria, a *Ubidots* disponibiliza ferramentas bastante robustas para a recolha, análise e a própria visualização dos dados recolhidos pelos dispositivos IoT, quer em tempo real, quer em análise de histórico dos dados.

Entre as diversas características e funcionalidades da plataforma uma que salta muito à vista é a interface de utilizador que eles disponibilizam, pois é bastante intuitiva, fácil de personalizar e acrescentar gráficos ou outro tipo de funcionalidades, mantendo sempre uma facilidade de ligação mantida entre os dispositivos IoT.

A plataforma disponibiliza alguns dos protocolos mais conhecidos e mais utilizados na área de IoT, entre eles destacam-se o MQTT, HTTP e *Transmission Control Protocol (TCP)/User Datagram Protocol (UDP)*, garantindo flexibilidade na comunicação entre dispositivos e a própria nuvem.

Além da diversidade de protocolos disponíveis, a plataforma também é compatível com diversos microcontroladores populares e amplamente usados nesta área como, por exemplo, ESP32, *Raspberry Pi*, *Arduino* e outros, o que simplifica o desenvolvimento de soluções.

No centro da *Ubidots* está a representação de variáveis, que representam os fluxos de dados associados a sensores, atuadores ou outros dispositivos IoT. Estes fluxos podem ser utilizados para controlar diversos parâmetros através dos sensores como temperatura, pressão, consumo energético ou estados de sistemas.

Outro ponto de interesse da plataforma seria a capacidade de automação de processos e tarefas. Através da plataforma consegue-se configurar diversos tipos de "regras baseadas em eventos" para a automação das tarefas pretendidas como alertas por correio eletrónico, notificações por SMS entre outros.

A *Ubidots* é altamente escalável, sendo adequada tanto para protótipos de tamanho mais modesto como para soluções de produção, onde são exigidas uma maior complexidade de sistemas. As empresas conseguem utilizá-la para controlo remoto de dados, manutenção preditiva, controlo de processos e muitas outras aplicações. A plataforma inclui funcionalidades avançadas de gestão de dispositivos IoT, permitindo o controlo dos diversos estados dos sensores, atualizar "firmware" remotamente e organizar dispositivos por projetos ou clientes.

No que toca a segurança a *Ubidots* tem implementado diversos protocolos de criptografia TLS, autenticação baseada em API *tokens*, e oferece o controlo permanente de infraestruturas para garantir a total integridade dos dados e diversas operações dos sistemas IoT implementados.

A plataforma disponibiliza diversos modelos de subscrição, desde uma versão gratuita que claramente não disponibiliza muitas das características dos planos de subscrição pagos. A versão gratuita pode ser útil para pequenos projetos académicos ou projetos domésticos de menor dimensão, enquanto as versões pagas disponibilizam uma maior capacidade de recursos adicionais como maior capacidade de processamento, armazenamento de longo prazo, integração com plataformas empresariais e suporte técnico dedicado.

A *Ubidots* é especialmente valorizada em setores como manufatura, agricultura inteligente, saúde e cidades inteligentes, onde o constante controlo de dados em tempo real e a automação são cruciais.

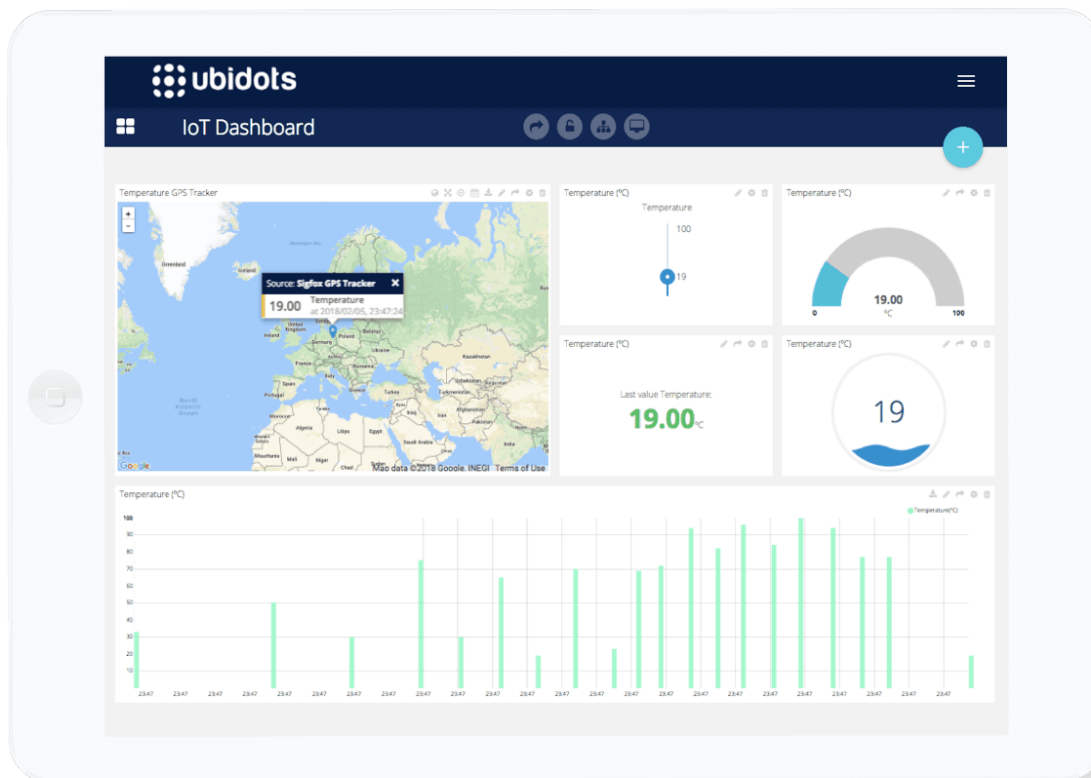


Figura 3.9: Representação de dashboards do Ubidots: Link para a imagem.

### 3.3.1.5 Kaa

A *Kaa IoT* [8] é uma plataforma de *middleware open source* criada para facilitar o desenvolvimento e a gestão de soluções IoT.

A plataforma tem um grande foco na escalabilidade e eficiência permite que empresas implementem aplicações ligadas de forma simples, enquanto a gestão dos diversos dispositivos e análise de dados de maneira robusta e segura.

Um dos pontos fortes da plataforma é a forma como a mesma se adapta e se molda em volta do utilizador, tendo assim uma fácil interação e personalização de gráficos e *widgets*, adaptando-se assim ao utilizador e ao projeto em questão.

Esta plataforma está presente em alguns projetos de automação industrial, cidades inteligentes, saúde e energia.

A *Kaa* suporta a integração com diversos protocolos de comunicação amplamente usados em IoT, como MQTT, CoAP e HTTP, permitindo uma facilidade de ligação entre dispositivos IoT.

Um dos seus pontos positivos é o suporte a arquiteturas *multi-tenancy*, o que significa que várias empresas, organizações, equipas ou projetos podem ser geridos na mesma infraestrut-

tura sem qualquer tipo de interferências.

A grande escalabilidade como já referida anteriormente e a alta disponibilidade são também fatores de destaque. A plataforma é capaz de lidar com milhões de dispositivos e fluxos de dados simultaneamente, graças ao suporte para "clusters" que garantem o funcionamento contínuo, mesmo em caso de algum tipo de falhas.

No que à segurança diz respeito a *Kaa* inclui medidas de autenticação de dispositivos, encriptação de dados e controlo de acessos.

Existe uma versão gratuita indicada para projetos de menor dimensão que não lidem com uma abundância de dados e dispositivos. A versão paga é indicada para projetos maiores ou empresas que necessitem de suporte técnico dedicado e atualizações automáticas. Estes incluem acesso a funcionalidades de excelência, maior escalabilidade e suporte técnico avançado.

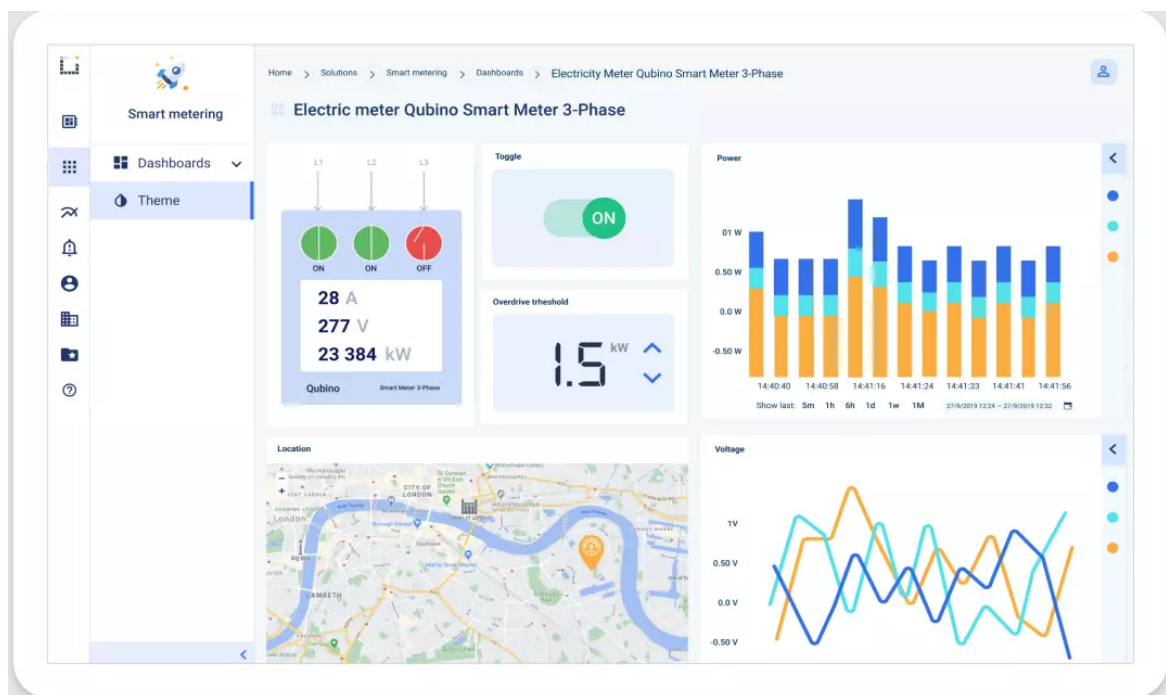


Figura 3.10: Representação de dashboards do Kaa: [Link para a imagem](#).

## 3.4 Estudos Relacionados

### 3.4.1 Zabbix

O artigo intitulado "Zabbix na prática: Implementação de monitoramento para controle de caixa d'água" apresenta um guia para a configuração de um sistema de monitorização de controlo do nível de água num depósito de água usando o *software* de monitorização *Zabbix*

[9]. O artigo começa por explicar o problema da perda de água devido a fugas nos depósitos de água e como um sistema de controlo pode ajudar a detetar a possibilidade de fugas mais rapidamente.

No artigo é explicado os equipamentos que serão necessários para a realização do projeto, como, por exemplo, sensores de nível de água e microcontroladores para a aquisição de dados, é detalhado o processo de instalação e configuração do sistema em si. O *software Zabbix* foi utilizado para controlo e monitorização dos depósitos, permitindo a configuração de alertas para notificar os utilizadores caso aconteça algum problema, como fugas ou níveis de água muito baixos, entre outros.

No geral, a página disponibiliza um exemplo prático de como um sistema de monitorização e controlo pode ser implementado utilizando o *Zabbix* e sensores de nível da água, ajudando assim a detetar e corrigir fugas mais rapidamente, o que permite não só economizar água mas também dinheiro.

Utilizar o *Zabbix* para controlar os recursos, como a água num depósito de água, tem diversas vantagens.

É possível monitorizar em tempo real o consumo e qualidade da água, identificando rapidamente possíveis problemas. O sistema pode ser configurado para enviar alertas automáticos quando o consumo ou qualidade da água atingem níveis críticos, permitindo que os responsáveis pela gestão dos mesmos tomem medidas imediatas.

Além disso, o *Zabbix* recolhe dados históricos sobre o consumo e qualidade da água, possibilitando assim diversas análises e projeções para uma melhor gestão dos recursos. As notificações, relatórios e dashboards podem ser personalizados conforme as necessidades do utilizador.

Por fim, a plataforma é altamente escalável, podendo ser usada desde pequenos condomínios até grandes cidades. No entanto, o *Zabbix* apresenta algumas desvantagens a serem consideradas, como a sua ampla variedade de recursos, o que pode requerer tempo para os utilizadores se adaptarem às suas funcionalidades. Além disso, a utilização pode exigir muitos recursos de *hardware* como *software*, incluindo memória, espaço de armazenamento e largura de banda de rede, dependendo do tamanho do ambiente pretendido a ser controlado.

A configuração inicial pode ser complexa e exigir conhecimento técnico, como redes e bases de dados, além de não possuir suporte oficial disponível em todas as regiões do mundo. Algumas funcionalidades também podem exigir personalização adicional para funcionarem corretamente, o que pode exigir tempo e esforço extra por parte dos utilizadores.

#### **3.4.1.1 Sigfox**

A *SigFox* [10] apresenta uma solução de monitorização remota baseada na plataforma *Microsoft Azure IoT*, que utiliza a rede *Sigfox* como auxílio para a comunicação dos dados.

A solução permite monitorizar vários tipos de equipamentos, incluindo equipamentos industriais, sensores ambientais, equipamentos de transporte e dispositivos médicos. O sistema oferece recursos como a recolha dos dados em tempo real, o armazenamento na nuvem, a análise de dados, alertas e notificações para o utilizador, como também “dashboards” personalizados para visualização dos dados em tempo real.

Os dados adquiridos pelos dispositivos são enviados para a nuvem, onde depois podem ser processados e analisados por meio de ferramentas avançadas de análise de dados. Os utilizadores podem aceder aos dados dos dispositivos e informações analíticas por meio de uma plataforma *web* e/ou aplicação móvel personalizadas.

A solução oferece diversas vantagens, como a facilidade de implantação e a integração com outros sistemas da plataforma *Microsoft Azure*, além da capacidade de monitorizar diversos tipos de ativos em tempo real, permitindo a deteção rápida de problemas, ações corretivas e muitas vezes prever as mesmas. Também há flexibilidade para personalizar alertas, relatórios e *dashboards* conforme as necessidades do utilizador, além da escalabilidade da solução, que pode ser adaptada para diferentes necessidades de monitorização, desde pequenas empresas até grandes organizações.

No entanto, a solução apresenta algumas desvantagens, tais como o custo considerado elevado da plataforma *Microsoft Azure IoT*, o que pode ser um impedimento para algumas empresas adotarem este tipo de solução, a necessidade dos dispositivos serem compatíveis com a rede *Sigfox* para a comunicação de dados, o que pode limitar a adoção da solução em certas regiões ou setores, e a exigência de conhecimentos técnicos avançados para a implantação e configuração das soluções em questão.

#### **3.4.1.2 Libelium Smart Water**

A *Libelium [11] Smart Water* é uma solução de IoT para a gestão de recursos hídricos, desenvolvida pela empresa espanhola *Libelium*.

A solução utiliza sensores sem fio de forma a recolher dados em tempo real sobre a qualidade e quantidade de água, a fim de melhorar a eficiência do uso da água e evitar desperdícios. Os dados recolhidos são enviados para uma plataforma na nuvem, onde são processados e analisados para detetar anomalias, alertar sobre fugas, controlar o uso de água e gerar relatórios em tempo real.

A solução é escalável, permitindo que seja utilizada em diferentes cenários, e, além disso, é compatível com várias plataformas na nuvem e pode ser integrada a outros sistemas de gestão de água e análise de dados.

A solução descrita oferece diversas vantagens, tais como a presença de sensores precisos que medem parâmetros importantes da água, incluindo pH, temperatura, turbidez, condutividade e níveis de sólidos dissolvidos. Além disso, pode ser facilmente instalada e configurada para atender às necessidades de monitorização de água de diversos setores, tais como cidades, agricultura, indústrias, entre outros.

Fornecer dados em tempo real e alertas que permitem a tomada de decisões imediatas e detecção precoce de possíveis problemas, como fugas ou contaminação da água. Possui ainda uma plataforma integrada que coleta, analisa e visualiza dados de maneira fácil e eficiente, permitindo que os utilizadores tomem decisões mais informadas e precisas.

Possui uma arquitetura modular e escalável, permitindo que os utilizadores adicionem novos sensores e recursos conforme as necessidades em constante mudança.

Embora a solução apresente muitas vantagens, também existem algumas desvantagens a serem consideradas. Uma desvantagem potencial é o custo significativo dos equipamentos e infraestrutura necessários, como sensores, *gateways* e redes de comunicação, que podem variar dependendo do tamanho do projeto e da área de cobertura desejada.

Além disso, a implementação e manutenção adequadas do sistema exigem uma equipa técnica com conhecimentos em IoT. A precisão e fiabilidade dos dados recolhidos dependem da qualidade dos sensores utilizados e do ambiente de implantação.

### **3.4.1.3 Disrupt-X Smart Water Tank Monitoring. [12]**

É uma solução de Internet das Coisas projetada para controlar em tempo real os níveis de água em tanques, podendo ser implementada em indústrias, edifícios comerciais e áreas residenciais comuns.

O sistema utiliza diversos sensores inteligentes para realizar a medição contínua de características como níveis de água, temperatura e qualidade da mesma. Estes sensores reúnem e comunicam os dados para uma plataforma IoT, podendo usar uma panóplia de protocolos, tais como LoRaWAN, LTE ou *wireless fidelity* (Wi-Fi), garantindo assim uma grande flexibilidade para se ajustar aos requisitos dos seus utilizadores.

A plataforma em si é bastante flexível, permitindo uma personalização especializada de diferentes *dashboards* para a visualização e análise dos dados conforme as preferências do utilizador, pois é ele que os pode ajustar à sua maneira.

Notificações e alarmes conseguem ser configurados e implementadas para notificar os seus utilizadores quando os níveis de água atingem limites críticos, permitindo ação imediata para evitar danos ou falhas operacionais.

Esta solução apresentada é alimentada pela infraestrutura *Cloud Orbit*, que disponibiliza capacidades robustas de guardar e processar os dados, também contando com a integração com sistemas analíticos avançados para gerar informação relevante em tempo real.

Além disso, um dos pontos bastante positivos é o facto do sistema ser projetado com a possibilidade de ser escalável, o que torna ideal para empresas que tem a intenção de expandir a implementação em diversos locais ou aplicações diferentes.

#### **3.4.1.4 Schneider Electric**

A *Schneider Electric* [13] é uma empresa líder no que toca a soluções de IoT e oferece uma ampla gama de produtos e serviços para empresas em todo o mundo, cujo objetivo é ajudar os clientes a melhorar a eficiência, a produtividade e a segurança dos seus sistemas.

As soluções IoT da *Schneider Electric* utilizam sensores e dispositivos ligados para a recolha de dados em tempo real e enviar esses dados para a nuvem, fazendo assim uma análise e gestão. A empresa também oferece *software* e serviços de análise de dados que ajudam os clientes a entender e visualizar os dados. A *Schneider Electric* disponibiliza diversos dispositivos, dos quais destacam-se:

- *EcoStruxure Power*: é um sistema de gestão de energia elétrica que usa sensores para recolher dados em tempo real e fornecer informações sobre o consumo de energia, qualidade da energia e outras métricas importantes. Pode ser usado em edifícios, indústrias e data centers;
- *EcoStruxure Building*: é um sistema de gestão predial que usa sensores e dispositivos IoT para controlar e monitorizar sistemas de "Heating", "Ventilation", and "Air Conditioning (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)*)<sup>2</sup>, iluminação, segurança e outros sistemas em edifícios. Ajuda a melhorar a eficiência energética, o conforto e a segurança dos ocupantes;
- *EcoStruxure Asset Advisor*: é um serviço de gestão de ativos que usa sensores para monitorizar ativos, como motores, bombas, geradores e transformadores, para detetar problemas precocemente e prevenir falhas;
- *Modicon M580*: é um controlador programável baseado em Ethernet que pode ser usado em sistemas de automação industrial para monitorizar e controlar processos em tempo real, com o objetivo de melhorar a eficiência e a produtividade.

Para além dos diversos dispositivos, a tecnologia de automação e controle permite a monitorização em tempo real, o que possibilita uma deteção rápida de problemas e agilidade na

resolução deles e permite a otimização de recursos, redução de custos e aumento da eficiência na gestão de água e saneamento.

No entanto, a solução apresenta algumas desvantagens a serem consideradas, como o alto custo, que pode ser especialmente desafiador para pequenas empresas e organizações com orçamentos limitados. A implementação pode ser complexa e requer conhecimentos técnicos especializados.

### **3.4.1.5 Flume**

*Flume* [14] é uma empresa que produz diversas soluções de monitorização e controlo de fugas de água para casas e edifícios.

Disponibiliza diversas soluções, das quais se destacam as seguintes:

- *Flume Smart Home Water Monitor*: é o produto principal, é um dispositivo fácil de instalar que se liga ao contador de água da própria casa. Este fornece informações detalhadas sobre o consumo de água, alertas de fugas e um histórico de uso de água em tempo real;
- *Flume Sensor*: é um sensor de fugas de água, que normalmente é instalado perto de locais comuns de fugas (como tanques de água quente, máquinas de lavar roupa, entre outros) que alerta os utilizadores sobre possíveis fugas antes que estas causem danos significativos;
- *Flume Pro*: é um pacote de instalação profissional que fornece monitorização de água em tempo real para edifícios comerciais, condomínios e outras propriedades com múltiplos contadores de água;
- *Flume Flow*: é um medidor de fluxo de água que se liga aos tubos de água principal da casa para medir o fluxo de água e detetar fugas.

As soluções descritas para monitorização e controlo da água oferece diversas vantagens, tais como a instalação fácil e sem a necessidade de ferramentas especiais, monitorização contínua do consumo de água para a identificação de possíveis fugas, alertas em tempo real sobre fugas ou anomalias no consumo de água, acesso aos dados de consumo de água em tempo real através duma aplicação móvel ou da plataforma *online*, possibilidade de definir orçamentos de consumo de água e receber alertas quando o limite é atingido, e compatibilidade com assistentes virtuais.

Estas vantagens ajudam os utilizadores a economizar água, dinheiro e tempo, além de oferecer maior controlo e conveniência na gestão da sua rede de abastecimento de água.

No entanto, existe a necessidade de conexão com a Internet para a transmissão dos dados, o que pode gerar problemas em áreas com baixa conectividade, e a dependência da precisão do medidor de fluxo de água, que pode afetar a exatidão das medições e a solução é limitada

apenas para monitorização e controle do consumo de água, não oferecendo outras funcionalidades como deteção de qualidade da água.

#### **3.4.1.6 Ellenex**

A solução de monitorização e controlo de tanques de água remotamente desenvolvida pela *Ellenex* [15] foi concebida especificamente para ser implementada diretamente na indústria, o que requer vários fatores prioritários tais como alta durabilidade, eficiência e facilidade de ligação.

O sistema utiliza sensores impermeáveis bastante robustos que estão submersíveis (classificação IP65 ou superior), que operam em ambientes muitas vezes adversos, medindo os níveis de água com base nas diferenças de pressão da água. Estes sensores são alimentados por baterias de longa duração, minimizando assim a necessidade de manutenção frequente.

Existe uma variedade de possíveis tecnologias de comunicação entre os sensores e a plataforma remota é realizada por meio de tecnologias avançadas como Narrowband IoT (NB-IoT) e LTE Cat M1. Estes tipos de tecnologias são otimizados para aplicações industriais devido ao baixo consumo de energia, grande alcance entre outras características semelhantes.

Oferece também ligação segura e escalável, essencial para o controlo contínuo dos dados. A plataforma de *Ellenex* permite a visualização dos dados em tempo real, permite também a criação e configuração de alarmes para níveis críticos, análise histórica e integração com outros sistemas corporativos via *APIs*. Os dados são apresentados em diversos *dashboards* intuitivos e acessíveis ao utilizador podendo aceder aos mesmos por via de um navegador *web* ou dispositivos móveis.

Essa solução pode ser amplamente aplicável em indústrias como agricultura, tratamento de águas residuais, edifícios comerciais e diversos serviços municipais.

A plataforma auxilia na otimização do uso de recursos, previne danos e falhas, reduzindo assim os custos operacionais e eliminar inspeções manuais constantes, automatizando e facilitando todo o processo.

#### **3.4.1.7 Caso de Estudo sobre Soluções IoT para a gestão e controlo de tanques de água realizado por Saeed et al.**

Saeed et al. realizou um estudo [16] na qual apresentou uma solução inovadora de IoT para o controlo e gestão de tanques de água, com aplicações tanto urbanas como industriais.

A ideia passa por implementar diversos sensores inteligentes, que ligados entre si visam otimizar o uso de recursos hídricos e possivelmente reduzir significativamente os desperdícios.

Os objetivos primários da implementação de um sistema como este, visa enfrentar desafios críticos como a escassez de água e necessidade de otimizar a eficiência em infraestruturas de gestão de água, particularmente em cenários de urbanização crescente ou infraestrutura indústrias mais complexas.

A implementação do sistema tem por base sensores de nível de água, pressão e fluxo. Estes dispositivos controlam em tempo real as condições dos existentes nos tanques, conseguindo perceber possíveis alterações nos níveis ou padrões que possam indicar fugas, avarias e a prevenção das mesmas.

Estes dados podem ser transmitidos para uma plataforma IoT por meio de protocolos padrão, como, por exemplo, o MQTT e HTTP, permitindo que informações em tempo real consigam ser processadas e analisadas devidamente. São utilizados também microcontroladores ou "gateways" IoT acessíveis, como o ESP32 ou Arduino, garantindo flexibilidade e baixo custo na implementação do sistema.

Um dos aspetos distintivos deste projeto é a automatização do controlo das bombas de água. O sistema após ser implementado, é capaz de ligar ou desligar automaticamente as bombas de água com base nos níveis de água medidos, otimizando o consumo energético e minimizando o risco tanto de sobrecarga como de subutilização.

Uma interface de gestão, também está disponível tanto num navegador web como numa aplicação móvel, permite aos utilizadores controlar os tanques remotamente, recebendo alertas e notificações caso os níveis atinjam limites críticos ou quando são detetadas anomalias.

O sistema também suporta a integração com algoritmos de *machine learning*, que ajudam a prever padrões de consumo ou identificar anomalias antes que estas causem problemas significativos. Existem também medidas de segurança que foram implementadas, como criptografia de dados e autenticação, para proteger as informações transmitidas e garantir a integridade do sistema.

O projeto é escalável, permitindo a sua implementação em diversos contextos, desde pequenas empresas até grandes instalações industriais. Nomeadamente nas cidades, o sistema pode melhorar a eficiência de como a distribuição de água e a gestão de infraestruturas é gerida de forma mais eficiente, enquanto em indústrias, facilita o controlo remoto de grandes reservatórios, reduzindo a necessidade de inspeções presenciais e demoradas.

#### **3.4.1.8 SIMATIC**

O projeto *SIMATIC* [17], desenvolvido pela "Siemens", é uma solução IoT bastante robusta para a gestão mais eficiente dos recursos hídricos disponíveis em ambiente industrial.

Este sistema visa atender as necessidades dos utilizadores em ambientes industriais que pre-

cisam de recursos hídricos para operações críticas, combinando precisão, automação e a ligação a tecnologias IoT.

O sistema utiliza sensores de nível de alta precisão, que podem ser, por exemplo, ultrassônicos, radar ou capacitivos.

Estes sensores estão ligados a controladores IoT *SIMATIC*, como o modelo IoT2040, que reúnem os dados guardados e processam-nos localmente antes de os enviar para plataformas na nuvem. Os dados são transmitidos utilizando protocolos padrão IoT como MQTT, OPC UA e HTTP, garantindo compatibilidade e integração com outros sistemas que possam já existir nas empresas. Um dos pontos principais e positivos do projeto é a integração com o *MindSphere*, a plataforma IoT da *Siemens* na nuvem.

Os dados são armazenados e analisados no *MindSphere*, com ferramentas avançadas especialmente desenvolvidas para a análise de dados e inteligência artificial.

Esta integração permite que os operadores controlem os níveis de água em tempo real, identifiquem tendências de consumo e detetem possíveis anomalias, como fugas ou alterações inesperadas nos níveis.

A plataforma disponibiliza e suporta análise preditiva, que ajuda a antecipar necessidades futuras e otimizar o uso de bombas e válvulas, minimizando desperdícios e custos operacionais.

O sistema disponibiliza também automação integrada, ou seja, quando os níveis de água a serem controlados, encontram níveis críticos, automaticamente podem ser acionadas válvulas para esvaziar os tanques, reduzindo assim o trabalho manual dos operadores. Também são disponíveis notificações e alertas em tempo real caso algo de crítico esteja, ou se prevê que irá acontecer em breve.

Os benefícios do projeto são significativos, pois melhora a eficiência operacional ao reduzir desperdícios e otimizando processos industriais que dependem de recursos hídricos. Promovendo uma sustentabilidade ao ajudar as indústrias a gerir a água de forma responsável, reduzindo assim o seu impacto ambiental.

#### **3.4.1.9 Smart Monitoring of Water Tanks in KSA**

Este artigo "Smart Monitoring of Water Tanks in KSA" [18], fala sobre o desenvolvimento de um sistema inteligente para monitorizar tanques de água na Arábia Saudita. O objetivo principal deste projeto passa por mitigar possíveis vazamentos, transbordamentos ou desconhecimento do volume de água disponível.

A solução proposta integra sensores ultrassônicos para medir o nível de água nos tanques, um microcontrolador para processar os dados recolhidos e um módulo Wi-Fi para transmitir

essas informações para uma aplicação *Android*.

Esta aplicação permite que os utilizadores que a usam, consigam monitorizar remotamente os níveis de água em tempo real, receber alertas em caso de níveis críticos e prever quando será necessário reabastecer o tanque.

Este tipo de sistemas permite grandes avanços na melhoria da gestão dos recursos hídricos, aumentar a eficiência no uso da água e prevenir desperdícios, contribuindo para a sustentabilidade ambiental em regiões que precisam de cuidados extra.

#### **3.4.1.10 Intelligent Water Level Monitoring System Using IoT**

O artigo "Intelligent Water Level Monitoring System Using IoT" [19] apresenta uma solução para a monitorização e gestão inteligente de níveis de água, utilizando tecnologias da Internet das Coisas (IoT).

Este sistema foi desenvolvido visando proporcionar uma gestão cada vez mais eficiente de recursos hídricos, abordando problemas relacionados com o desperdício de água e os impactos ambientais e económicos que daí resultam.

A arquitetura do sistema baseia-se na utilização de sensores instalados em reservatórios para medir continuamente os níveis de água. Estes sensores estão conectados a um microcontrolador, que processa os dados recolhidos e os transmite para uma plataforma na nuvem mediante uma conexão sem fios (Wi-Fi). A plataforma na nuvem desempenha um papel essencial, armazenando os dados recolhidos, realizando análises e disponibilizando as informações em tempo real para os utilizadores, que podem aceder a estas informações por meio de uma aplicação *web* ou móvel.

O sistema também oferece ferramentas de análise preditiva, utilizando dados históricos para identificar padrões de consumo e antecipar situações críticas, como a redução significativa da disponibilidade de água.

A proposta combina inovação tecnológica com simplicidade operacional, oferecendo uma solução prática, escalável e economicamente viável para os desafios atuais na gestão de água.

#### **3.4.1.11 Water Level Monitoring and Management of Dams using IoT**

O artigo "Water Level Monitoring and Management of Dams using IoT" [20] explora para a monitorização e gestão de níveis de água em barragens.

A solução proposta no artigo baseia-se numa infraestrutura IoT que integra sensores avançados, microcontroladores e plataformas de análise em tempo real. Os sensores são responsáveis por medir continuamente os níveis de água nas barragens e monitorizar outras variáveis

relevantes, como a pressão da água e as condições ambientais. Os dados recolhidos pelos sensores são enviados para um microcontrolador, que os processa e os transmite para uma plataforma na nuvem utilizando comunicação sem fios, como Wi-Fi ou LoRa. Na nuvem, os dados são armazenados, analisados e disponibilizados aos utilizadores mediante *dashboards* intuitivas, como aplicações móveis ou *web*.

Uma das principais funcionalidades do sistema é a capacidade de fornecer monitorização em tempo real, permitindo aos responsáveis pela gestão das barragens acompanhar os níveis de água de forma constante e eficiente.

A utilização de IoT reduz significativamente os custos operacionais associados à gestão manual de barragens, melhora a eficiência do uso de recursos hídricos e minimiza riscos associados a inundações ou escassez de água. Além disso, a versatilidade do sistema permite que ele seja aplicado em diferentes tipos de barragens, independentemente do tamanho ou localização.

### 3.4.2 **Deep Learning-Based Unmanned Surveillance Systems for Observing Water Levels**

O artigo "Deep Learning-Based Unmanned Surveillance Systems for Observing Water Levels" apresenta um sistema de vigilância automatizado para monitorizar níveis de água em rios e reservatórios, com foco na prevenção de desastres como possíveis inundações [21].

O sistema proposto combina tecnologias de deep learning e IoT para criar uma solução de baixo custo que seja o mais eficiente possível.

A infraestrutura é composta por algumas estações remotas equipadas com diversas câmaras de vídeo, sensores para medir o nível da água e módulos de comunicação sem fios, que enviam estes dados em tempo real para uma central de monitorização.

A análise dos dados é feita no servidor, onde são aplicados três métodos: *deep learning*, aprendizagem por dicionário e método da diferença, sendo o deep learning o mais preciso e confiável.

A plataforma também inclui uma página *web* para a visualização e controlo dos dados em tempo real, tornando o sistema prático e acessível.

Este trabalho destaca-se pela integração da inteligência artificial no campo da monitorização ambiental e de recursos hídricos.

### 3.4.3 **Sistema de controlo de tanques de água nas salas de compressores industriais**

Após diversas reuniões e trocas de ideias com chefes de departamentos do Grupo TESTA, foi identificada uma oportunidade de melhoria operacional, na qual fazia parte uma implementação de um sistema IoT para o controlo dos níveis de água contaminada nos tanques

localizados em três salas dos compressores industriais.

Atualmente, o controle destes tanques é feito manualmente pelo chefe da manutenção, que tem de percorrer toda a fábrica para verificar se estão cheios. Quando os mesmos estão a ficar cheios ou estão no limite das suas capacidades, é necessária a requisição de ajuda de operadores de empilhadoras para transportar e esvaziar os tanques num local apropriado, dada a natureza contaminante da água, que não pode ser descartada de forma convencional.

Este processo consome tempo e retira os trabalhadores dos seus postos por períodos prolongados, impactando a eficiência geral das operações. Assim, uma das propostas de implementação de sistemas IoT pretende otimizar esta tarefa, automatizando a monitorização e reduzindo a necessidade de intervenções manuais frequentes.

O sistema proposto será composto por sensores impermeáveis instalados em cada tanque para medir os níveis de água. Estes sensores estão conectados a microcontroladores, responsáveis pela recolha dos dados e pelo seu envio para uma plataforma IoT previamente escolhida pela empresa. A plataforma, amplamente reconhecida no mercado, exibirá os dados de forma clara e intuitiva, permitindo ao chefe de manutenção monitorizar remotamente os tanques. Os dados recolhidos serão armazenados numa base de dados, possibilitando análises históricas e a criação de alertas automatizados quando os níveis de água atingirem os limites críticos.

Para proteger os componentes eletrónicos, será desenvolvida uma solução que os encapsula de forma segura, com as unidades instaladas em locais estratégicos e fixadas às paredes, garantindo robustez e durabilidade do sistema. Esta implementação não só simplificará o trabalho do chefe de manutenção, como também contribuirá para uma melhor alocação de recursos humanos e maior eficiência no processo de gestão de resíduos industriais.

#### **3.4.4 Sistema de Gestão e Descarte de Água Residual em Operações Industriais**

Na utilização diária de diversas máquinas industriais, como, por exemplo, neste caso o uso de compressores industriais e toda a utilização de ar comprimido, tanques de água suja provenientes destas máquinas desempenham um papel crucial e essencial na gestão de resíduos líquidos provenientes da normal utilização de máquinas industriais, sendo parte integrante de um sistema cuidadosamente estruturado para garantir a segurança ambiental e a eficiência operacional.

Todo este processo é dividido em fases distintas, desde a origem desta água suja até ao descarte controlado, envolvendo a utilização de equipamentos especializados e práticas de transporte e tratamento apropriadas.

A água suja surge do funcionamento normal dos compressores industriais, onde é gerada

como um subproduto. Durante o processo, ocorrem a mistura e a acumulação de resíduos como óleos, partículas de sujidade e outros contaminantes na água. Estes contaminantes tornam esta água inadequada para descarte direto no meio ambiente ou no saneamento normal, exigindo um processo de filtragem e armazenamento cuidadoso.

Inicialmente, ao sair dos compressores, a água passa por um conjunto de máquinas e filtros cujo objetivo é remover os contaminantes mais densos, como óleos e partículas sólidas. Este tratamento inicial é realizado antes de a água chegar ao primeiro tanque de armazenamento. Apesar de reduzir a quantidade de impurezas, o líquido que sai deste processo continua a conter resíduos químicos que requerem posterior descarte controlado.

Após acontecer este primeiro processo de filtragem, a água suja é acumulada num primeiro tanque, de menor dimensão se formos comparar com o tanque final. Este primeiro tanque funciona como um ponto intermédio de todo o circuito, equipado com uma bomba de água, que, ao chegar a um certo nível, é ativada e começa a transportar a água para um tanque de maior capacidade, permitindo um armazenamento mais seguro.

Este último tanque serve como o principal reservatório de armazenamento, onde a água permanece até que seja retirada para descarte. A localização do tanque final é estrategicamente definida para facilitar o acesso e o transporte por parte dos operadores.

Quando este tanque atinge a sua capacidade máxima, é necessário que um operador especializado no transporte consiga realizar o transporte do mesmo até ao local indicado para a descarga de resíduos, utilizando uma empilhadora. Este processo de descarga requer que o tanque seja transportado até ao sítio de descarga de resíduos industriais. É fundamental destacar que a água armazenada, mesmo após a filtragem inicial, contém substâncias químicas e contaminantes que a tornam inadequada para despejo em locais comuns.

Este sistema de gestão de água suja é importante para a operação industrial, garantindo não apenas a conformidade ambiental, mas também a eficiência operacional.

### **3.5 Conclusão**

Após uma análise das diferentes soluções apresentadas anteriormente no que toca a soluções que incorporam IoT, é possível retirar algumas conclusões relevantes para a projeção deste sistema a ser desenvolvido.

Verificou-se que a grande maioria das soluções existentes se centram em tipos de soluções mais genéricas, tanto de monitorização como de controlo, nomeadamente mais aplicadas em ambientes laboratoriais ou académicos, com menor ênfase na robustez necessária para ambientes industriais reais.

Embora plataformas amplamente usadas em diversos projetos como a *ThingsBoard* e o *Zab-*

*bix* apresentem abordagens interessantes e válidas, muitas carecem de aplicações diretas em contextos em que o ambiente envolvente tenha grande peso, ou seja, restrições físicas e operacionais, como as encontradas, por exemplo, num parque industrial como o do Grupo TESTA, onde, por diversos motivos, nem todas as condições são as ideais.

Os diversos trabalhos analisados demonstram várias alternativas em relação a sensores que podem ser implementados, tendo em conta diversos parâmetros como os diferentes graus de precisão e complexidade. Contudo, nem sempre é claro que exista uma real preocupação tanto com a durabilidade dos sensores como com a sua estanquidade, pormenores que são relevantes e fundamentais para sistemas que vão estar em exposição constante a humidades, poeiras, variações térmicas, entre outras.

O projeto desenvolvido teve em consideração estes aspetos, selecionando não apenas o sensor, mas os diversos materiais e dispositivos que constituem todo o sistema, onde estas características estão claramente presentes, visando garantir resistência e viabilidade no local final de implementação.

No que diz respeito à componente de incorporação de inteligência artificial, embora existam trabalhos e projetos mais avançados com modelos muito mais complexos, a escolha de um modelo de regressão linear simples no presente projeto revelou-se adequada face à quantidade de dados disponível, garantindo menor consumo de recursos num dispositivo limitado como o *Raspberry Pi Zero 2 WH*. A incorporação de inteligência artificial, não sendo uma característica fundamental para o normal funcionamento do sistema IoT, acrescenta métricas e dados importantes não só para previsão como para possíveis manutenções futuras. Além disso, o sistema inclui aprendizagem contínua, permitindo assim que o sistema melhore com o passar do tempo, à medida que recolhe cada vez mais dados reais do funcionamento do tanque.

Em suma, a principal contribuição deste trabalho prende-se com a integração de um sistema que seja prático, eficiente, de baixo custo de aquisição e com facilidade de replicação por todo o parque industrial. Posto isto, a integração de *hardware* de baixo custo, sensores físicos, *software* robusto, visualização em dashboards e mecanismos de notificação redundantes garante um sistema funcional, escalável e adaptado às exigências deste meio industrial. Desde a recolha de dados até à tomada de decisão e envio de alertas, o projeto representa um avanço face a muitos dos trabalhos analisados anteriormente, que frequentemente abordam apenas um dos componentes isoladamente.

# Capítulo 4

## Engenharia de *Software*

### 4.1 Introdução

Neste capítulo, será apresentada a conceção e a estrutura do sistema proposto para monitorização e gestão de tanques de líquido contaminado em ambiente industrial.

O objetivo principal deste sistema é otimizar e automatizar o controlo dos tanques de resíduos líquidos contaminados, de forma a facilitar o trabalho das pessoas responsáveis pelo controlo manual destes tanques.

Este projeto engloba diversos componentes para gerir estes tanques, tais como sensores, microcontroladores, componentes eletrónicos, fontes de alimentação elétrica e uma plataforma IoT para processamento e visualização de dados.

A integração destes elementos permite a recolha e análise de informações em tempo real, facilitando a tomada de decisões e a automação de processos.

Além de descrever os componentes e as funcionalidades do sistema, este capítulo apresenta o desenho geral da solução, detalha as suas partes constituintes e analisa os aspetos necessários para a sua industrialização.

### 4.2 Escalabilidade e Expansão do Protótipo

Este projeto IoT visa monitorizar e controlar os níveis de líquido contaminado nos reservatórios, implementando assim um protótipo funcional numa das salas onde estes reservatórios estão inseridos. Posteriormente, este sistema pretende ser implementado em todas as salas que possuem estes reservatórios ao longo do parque industrial do Grupo TESTA.

Este protótipo, desenvolvido e testado de forma detalhada, visa principalmente servir como uma base sólida para futuras expansões.

A escolha das soluções técnicas e metodológicas teve em consideração a escalabilidade do sistema, permitindo que o mesmo possa ser replicado de forma eficiente nas restantes salas do parque industrial. A replicação será facilitada pelas definições estruturadas no protótipo, como os métodos de ligação, os processos de comunicação de dados e as configurações na plataforma IoT.

Além disso, o projeto foi pensado de forma modular, assegurando a possibilidade de integração de sensores adicionais. Esta abordagem modular e escalável promove uma maior flexibilidade na utilização do sistema, permitindo que este seja adaptado a diferentes cenários e parâmetros de monitorização no futuro.

A implementação inicial numa única sala permite validar o funcionamento do sistema e identificar eventuais necessidades de optimização antes da sua expansão para todo o parque industrial.

Posto isto, este projeto atende a um problema específico, mas também estabelece as bases para um sistema integrado e escalável, que pode evoluir conforme as necessidades da empresa.

#### 4.2.1 Área de Implementação do Projeto



Figura 4.1: Imagem do parque industrial Grupo TESTA, onde o sistema foi desenvolvido.

A imagem anteriormente apresentada ilustra uma vista aérea do parque industrial do Grupo TESTA, cuja área está delimitada por uma linha verde.

Este parque industrial compreende diversas infraestruturas, incluindo edifícios administrativos, áreas de produção e armazéns.

Dentro desta área, estão destacados, com círculos vermelhos, os locais aproximados onde se situam as salas dos compressores industriais.

Estes espaços desempenham um papel crítico no funcionamento do parque, pois são responsáveis pelo fornecimento de ar comprimido, essencial para diversas máquinas e processos industriais.

Adicionalmente, nas proximidades destas salas, encontram-se localizados alguns tanques que armazenam água contaminada resultante dos processos industriais. Estes tanques são alvo do projeto de monitorização IoT.

A implementação inicial será realizada numa das áreas identificadas, servindo como protótipo para futuras expansões em outras áreas do parque industrial.

## **4.3 Análise de Requisitos de Sistema**

Nesta secção, são apresentados os requisitos funcionais e não funcionais identificados para o desenvolvimento deste projeto. Estes requisitos permitem compreender as necessidades do utilizador e definir os objetivos fundamentais do sistema, garantindo que a solução final atenda às expectativas, que funcione de forma eficiente, confiável e escalável.

### **4.3.1 Requisitos Funcionais**

Os requisitos funcionais são aqueles que descrevem as funções e comportamentos específicos que o software deve executar para atender às necessidades do utilizador. Com base nessas necessidades, foram estabelecidos os seguintes requisitos:

- [ **RF 1** ] – O sistema deve recolher dados do nível de líquido dos tanques, utilizando sensores ultrassónicos, em intervalos regulares que devem ser no mínimo três vezes ao dia;
- [ **RF 2** ] – Os dados recolhidos pelos sensores devem ser enviados para um microcontrolador para serem processados e armazenados;
- [ **RF 3** ] – O sistema deve transmitir os dados para a plataforma IoT ThingsBoard, utilizando assim protocolos MQTT;
- [ **RF 4** ] – O ThingsBoard deve apresentar os dados de forma gráfica em diversos dashboards (histórico de níveis de água, tendências e relatórios);
- [ **RF 5** ] – O sistema deve gerar alertas automáticos para o utilizador quando o nível de líquido nos tanques atinge limites críticos predefinidos ou está quase a atingir os mesmos;
- [ **RF 6** ] – O sistema deve conseguir prever, com base nos dados históricos, quando o nível dos tanques irá atingir os seus limites críticos;

- [ **RF 7** ] – As previsões devem ser exibidas no ThingsBoard, permitindo que os utilizadores consigam tomar decisões antecipadas;
- [ **RF 8** ] – O sistema deve enviar notificações automáticas por endereço eletrónico ou SMS caso o nível de água suba repentinamente ou quando uma previsão indique um risco iminente;
- [ **RF 9** ] – O sistema deve calcular indicadores estatísticos, como médias e desvios padrão dos níveis de líquido, para melhor compreensão do comportamento dos reservatórios;
- [ **RF 10** ] – Deve ser possível escalar o sistema para monitorizar mais tanques em outras salas no parque industrial sem grandes alterações na arquitetura geral do sistema;
- [ **RF 11** ] – O sistema deve armazenar os dados recolhidos por um período alargado de tempo, para permitir análises posteriores.

#### 4.3.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais referem-se às características do sistema que não estão diretamente relacionadas com as funcionalidades do *software*, mas sim com o seu desempenho, usabilidade, segurança, fiabilidade e escalabilidade.

Tendo isto em consideração, foram definidos os seguintes requisitos:

- [ **RNF 1** ] – O sistema deve estar integrado e ligado à Internet para uma comunicação e envio de dados em tempo real;
- [ **RNF 2** ] – A *interface* de visualização (ThingsBoard) deverá ser compatível com os navegadores mais utilizados como o *Chrome*, *Firefox*, *Edge*;
- [ **RNF 3** ] – A solução deve ser intuitiva e de fácil acesso ao utilizador, para que os mesmos consigam interpretar os dados de uma forma simples e rápida;
- [ **RNF 4** ] – O sistema deverá permitir uma monitorização contínua;
- [ **RNF 5** ] – O sistema deve garantir a precisão e integridade dos dados recolhidos, minimizando erros e possíveis inconsistências;
- [ **RNF 6** ] – A solução deve ser escalável, permitindo adicionar mais sensores ou áreas de monitorização no futuro sem comprometer o desempenho geral do sistema;
- [ **RNF 7** ] – A solução deve ser projetada para minimizar ao máximo o consumo de energia dos sensores e uma solução economicamente reduzida, assegurando um funcionamento eficiente e sustentável;
- [ **RNF 8** ] – O armazenamento de dados deve ser robusto, permitindo guardar informações históricas por um longo período de tempo, para possíveis análises posteriores;
- [ **RNF 9** ] – A solução deverá ser capaz de enviar alertas aos utilizadores em situações críticas, utilizando notificações por correio eletrónico ou mensagens num *dashboard*;

- [ **RNF 10** ] – O sistema deve garantir a segurança dos dados, incluindo o uso de autenticação segura para acesso à plataforma e proteção contra acessos não autorizados;
- [ **RNF 11** ] – O sistema deve garantir a segurança dos dados, incluindo o uso de autenticação segura para acesso à plataforma e proteção contra acessos não autorizados;
- [ **RNF 12** ] – Os sensores utilizados devem ser resistentes ao ambiente industrial, incluindo humidade, poeira e vibrações, de forma a garantir a durabilidade;
- [ **RNF 13** ] – A solução deve ser compatível com protocolos padrão de IoT, como acMQTT, para facilitar uma possível integração com outros sistemas e dispositivos no futuro;
- [ **RNF 14** ] – O sistema deve ser concebido de forma a garantir um baixo custo de manutenção e simplicidade na substituição de componentes, como sensores ou cabos.

## 4.4 Especificação dos Sensores

Com o intuito de desenvolver um sistema de monitorização e controlo de tanques de água contaminada, foram analisadas diferentes opções de sensores disponíveis no mercado.

Dentro dos diversos sensores, optou-se por analisar mais detalhadamente sensores ultrassónicos, pois são adequados para o projeto, destacando-se pela capacidade de medir distâncias com elevada precisão, além de serem economicamente viáveis e de fácil integração com sistemas de microcontroladores.

O foco passou então pela pesquisa de três sensores em específico: A01NYUB, JSN-SR04T e A02YYUW, sendo este último o selecionado para a implementação do projeto.

### 4.4.1 Sensor A01NYUB

O sensor A01NYUB, uma das opções exploradas, apresenta intervalos de medição entre 30 cm e 750 cm, com uma precisão dessa medição de  $\pm 1$  cm, e utiliza protocolos de comunicação UART, o que facilita a integração em sistemas digitais que suportem entradas seriais. Um dos pontos fortes deste sensor é o seu custo reduzido, com um tempo de resposta rápido (geralmente inferior a 100 ms), sendo assim uma opção viável.

Contudo, o A01NYUB não possui proteção contra poeira ou água, o que o torna inadequado para ambientes industriais expostos a líquidos ou condições climáticas adversas, como será o caso neste projeto.

#### 4.4.2 **Sensor JSN-SR04T**

O sensor JSN-SR04T é projetado para ser resistente à água, com o sensor que emite as ondas ultrassônicas completamente vedado e com proteção contra a humidade. O sensor opera medições num intervalo de 20 cm a 600 cm, com uma precisão de  $\pm 2$  cm em condições ideais.

Utiliza um sistema de comunicação baseado em "Trigger e Echo", semelhante ao clássico HC-SR04, o que exige o uso de pinos digitais para disparar e receber os sinais. Apesar da sua construção robusta e de ser à prova de água, não possui certificado IP formal, uma questão essencial para o projeto.

A sua precisão e alcance são inferiores comparados a outros modelos, especialmente em situações que envolvem líquidos em movimento ou superfícies irregulares.

#### 4.4.3 **Sensor Ao2YYUW**

O Ao2YYUW, um sensor ultrassónico, destaca-se como uma solução muito robusta e fiável. Este sensor possui um intervalo de medição entre 25 cm e 450 cm, com uma precisão de  $\pm 1$  cm, utilizando o protocolo UART para comunicação.

Um dos pontos-chave deste sensor é o facto de possuir certificação IP67, que assegura resistência total a poeira e imersão em água até 1 metro de profundidade por um período de até 30 minutos.

Além disso, o Ao2YYUW é construído com materiais resistentes à corrosão, aumentando assim a sua durabilidade em ambientes agressivos e sujeitos a variações térmicas, como ocorre neste projeto.

O consumo de energia do Ao2YYUW é baixo, com uma média de 30 mA enquanto está em funcionamento.

##### 4.4.3.1 **Justificação para a Escolha do Ao2YYUW**

Tendo em conta todas as características dos sensores apresentados anteriormente, a seleção do Ao2YYUW foi baseada em critérios técnicos e operacionais rigorosos.

A certificação IP67 é um dos fatores mais importantes, garantindo um nível superior de proteção contra poeira e água, essencial para o ambiente industrial onde será implementado, considerando especialmente a presença constante de humidade e líquidos contaminados nos tanques.

A precisão de  $\pm 1$  cm e o intervalo de medição de até 450 cm permitem monitorizar com exatidão os níveis de água nos tanques.

Outro fator determinante foi a compatibilidade com microcontroladores como o Raspberry Pi, uma vez que o protocolo UART utilizado pelo sensor simplifica a comunicação entre os componentes. Além disso, a construção robusta do Ao2YYUW garante operação contínua mesmo a longo prazo.

Embora o JSN-SR04T também ofereça resistência à água, as suas limitações em alcance e precisão, aliadas à falta de uma certificação IP formal, reduziram a sua adequação para o projeto. Já o Ao1NYUB, apesar de ser uma solução económica, não oferece proteção contra condições ambientais adversas, tornando-o pouco viável para este projeto em específico.

Após análise comparativa das opções disponíveis, o Ao2YYUW foi identificado como a solução mais apropriada para o sistema de monitorização. A combinação de precisão, robustez, certificação IP67 e facilidade de integração oferece um equilíbrio ideal entre desempenho e confiabilidade, garantindo que o sistema atenda aos exigentes requisitos do ambiente industrial.

## **4.5 Especificação dos Microcontroladores**

### **4.5.1 ESP32**

O microcontrolador ESP32 é altamente versátil, com um processador dual-core Tensilica Xtensa LX6 e até 520 KB de SRAM. Inclui ligações Wi-Fi e Bluetooth, tornando-o ideal para projetos de IoT.

É energeticamente eficiente, consumindo cerca de 160 mA durante operação ativa. O ESP32 suporta *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), I2C, SPI e ADC, facilitando a integração de sensores e outros periféricos. É bastante utilizado para este tipo de projetos IoT, com vários pontos positivos, como a combinação de baixo custo e eficiência energética.

No entanto, apresenta algumas limitações, como a sua capacidade de processamento e armazenamento comparada a outros tipos de microcontroladores.

### **4.5.2 Arduino Nano 33 IoT**

Este microcontrolador Arduino Nano 33 IoT é uma evolução da conhecida plataforma Arduino, que tem como objetivo particular explorar projetos IoT.

Possui um ARM Cortex-M0+ SAMD21 e inclui conectividade Wi-Fi e Bluetooth Low Energy, 256 KB de memória flash e 32 KB de SRAM, sendo particularmente adequado para tarefas

que não requerem uma elevada capacidade de processamento.

Este Arduino Nano 33 IoT é conhecido pela sua simplicidade de uso e implementação, baixo consumo energético, e boa integração com sensores que utilizam I2C e UART. Como já foi referido, não é muito indicado para tarefas que exijam grandes níveis de processamento intensivo e armazenamento interno; no entanto, é eficiente para sistemas que apenas precisam de transmitir e comunicar dados para a nuvem ou outros dispositivos.

#### 4.5.3 **Orange Pi Zero**

O Orange Pi Zero apresenta um processador ARM Cortex-A7 quad-core, 256 MB ou 512 MB de RAM, e conectividade Ethernet e Wi-Fi. Este microcontrolador suporta sistemas operativos baseados em Linux, como Armbian, oferecendo uma plataforma versátil para aplicações mais avançadas.

O Orange Pi Zero apresenta limitações em termos de suporte comunitário, estabilidade de “software” e documentação técnica, o que pode dificultar a implementação em ambientes críticos. Apresenta uma eficiência energética semelhante e comparável ao Raspberry Pi Zero, mas com um consumo ligeiramente superior em algumas situações.

#### 4.5.4 **Raspberry Pi Zero 2 WH**

O Raspberry Pi Zero 2 WH é uma versão melhorada do Raspberry Pi Zero, integrando um processador quad-core ARM Cortex-A53 com frequência de 1 GHz, 512 MB de RAM e conectividade sem fios (Wi-Fi e Bluetooth) já embutida.

Suporta sistemas operativos completos baseados em Linux, permitindo flexibilidade para executar aplicações avançadas em Python, C++ e outras linguagens. O seu tamanho é bastante compacto, possui baixo consumo energético (entre 0,7 W e 2,5 W, dependendo da carga) e vários sistemas de comunicação (GPIO, UART, I2C, SPI).

A sua capacidade de lidar com operações complexas e de integrar múltiplos sensores através das portas GPIO torna-o ideal para este tipo de projetos IoT. No entanto, o consumo energético ligeiramente superior e a necessidade de gestão de sistemas operativos podem representar um desafio em situações que exijam uma eficiência energética muito rigorosa.

#### 4.5.5 **Justificação para a Escolha do Raspberry Pi Zero 2 WH**

A escolha do microcontrolador Raspberry Pi Zero 2 WH para este projeto baseia-se em vários critérios, assim como na experiência prévia já adquirida com a plataforma Raspberry Pi, o que facilita a sua integração e utilização.

A capacidade do Raspberry Pi Zero 2 WH de executar sistemas operativos completos proporciona maior flexibilidade no desenvolvimento de software, especialmente em ambientes

industriais onde é necessário processar e armazenar dados localmente antes de os enviar para a nuvem. Um dos pontos fortes é a integração nativa de Wi-Fi e Bluetooth, que reduz a necessidade de módulos adicionais, simplificando todo o sistema.

Adicionalmente, o Raspberry Pi Zero 2 WH possui uma comunidade ativa e vasta documentação, o que facilita a resolução de problemas e a implementação de novas funcionalidades.

## 4.6 Comunicação entre o Sensor e o Microcontrolador

A comunicação entre o sensor ultrassônico e o microcontrolador, nomeadamente o AO2YYUW e o Raspberry Pi Zero 2 WH respetivamente, será estabelecida utilizando o protocolo serial Transistor-Transistor Logic (TTL), que opera de forma eficiente em curtas distâncias e é amplamente suportado por microcontroladores e sensores modernos.

Este protocolo baseia-se na transferência de dados digitais utilizando sinais elétricos binários para representar os estados lógicos de alta (1) e baixa (0), com tensões típicas de 5V ou 3,3V.

O protocolo UART será também utilizado como base para a comunicação de dados. O UART é um método de transmissão de dados serial assíncrono que não requer um sinal de "clock" partilhado entre os dispositivos. Em vez disso, os dados são enviados em pacotes de bits de início, dados e paridade, permitindo ao recetor sincronizar-se automaticamente com a transmissão.

Neste caso em específico, usando o sensor ultrassônico AO2YYUW, o UART será configurado para funcionar com parâmetros específicos, como velocidade de transmissão, número de bits de dados, paridade e bits de paragem. A velocidade de transmissão para sensores como o AO2YYUW é normalmente de 9600 bps, garantindo assim uma transmissão de dados mais estável.

Resumidamente, o fluxo de dados e processamento passa por:

- O sensor mede a distância até ao líquido contaminado e gera os dados correspondentes;
- Esses dados são transmitidos pela interface UART do sensor, utilizando o protocolo serial TTL;
- O Raspberry Pi Zero 2 WH, configurado para receber os dados na porta UART, lê os valores enviados pelo sensor;
- No microcontrolador, os dados recebidos são processados em tempo real para serem integrados na plataforma IoT de monitorização, nomeadamente a plataforma "Things-Board" para o armazenamento e visualização dos dados em questão.

## **4.7 Comunicação entre o Microcontrolador e a Plataforma IoT**

O microcontrolador e a plataforma IoT, nomeadamente o Raspberry Pi Zero 2 WH e a plataforma "ThingsBoard", vão comunicar através de Wi-Fi, utilizando o protocolo MQTT. Este protocolo é amplamente utilizado neste tipo de sistemas IoT devido à sua leveza, eficiência e capacidade de funcionar em redes com recursos limitados.

O Raspberry Pi Zero 2 WH já possui ligação Wi-Fi incorporada, o que elimina a necessidade de módulos adicionais para este tipo de comunicação sem fios. O microcontrolador será configurado de forma a estar ligado à rede Wi-Fi disponível em toda a área das instalações do Grupo TESTA. Após o estabelecimento desta ligação, será implementado um sistema de transmissão de dados, no qual o Raspberry Pi atuará como intermediário entre os sensores e a plataforma IoT.

O MQTT foi selecionado como protocolo de comunicação devido à sua eficiência e baixo consumo de recursos. Este protocolo opera por meio de um modelo de publicação e subscrição, no qual o Raspberry Pi atua como publicador de dados e a plataforma "ThingsBoard" como subscritora.

Os dados recolhidos pelos sensores conectados ao Raspberry Pi serão processados localmente e enviados para o broker MQTT alojado no "ThingsBoard".

## **4.8 Arquitetura Geral do Sistema de Monitorização**

O sistema de gestão de tanques a ser desenvolvido em ambiente industrial é composto por algumas etapas como a recolha, transmissão, armazenamento e análise desses dados em tempo real. Dividi-o assim em 3 blocos principais: sensores, microcontrolador e plataforma IoT.

Os sensores que estão implementados nos tanques recolhem os dados cruciais relativamente ao nível de líquido nos tanques. Esses dados são enviados diretamente para o microcontrolador, que atua como intermediário entre os sensores e a plataforma IoT. O microcontrolador, ao receber os dados, processa-os, organiza-os e transmite-os através de comunicação Wi-Fi, utilizando o protocolo MQTT para assegurar uma comunicação eficiente e segura.

Na plataforma IoT, os dados são armazenados numa base de dados centralizada e apresentados de forma visual mediante dashboards interativos.

Esta estrutura permite então a monitorização e gestão dos níveis dos tanques contaminados.

Os sistemas IoT podem ser divididos em diversas camadas, como, por exemplo:

**Camada de Percepção (Perception Layer)** — é a camada mais próxima do ambiente físico, responsável por captar os dados através dos sensores.

**Camada de Rede (Network Layer)** — responsável por transmitir os dados recolhidos pelos sensores até à próxima camada, utilizando protocolos de comunicação adequados.

**Camada de Processamento (Processing Layer)** — nesta camada, os dados são processados, analisados e, muitas vezes, armazenados.

**Camada de Aplicação (Application Layer)** — responsável por fornecer uma plataforma através da qual os utilizadores interagem com o sistema e acedem aos dados previamente recolhidos.

**Camada de Segurança (Security Layer)** — responsável por proteger o sistema e os dados contra acessos não autorizados, ataques externos e falhas, garantindo a integridade do sistema IoT.

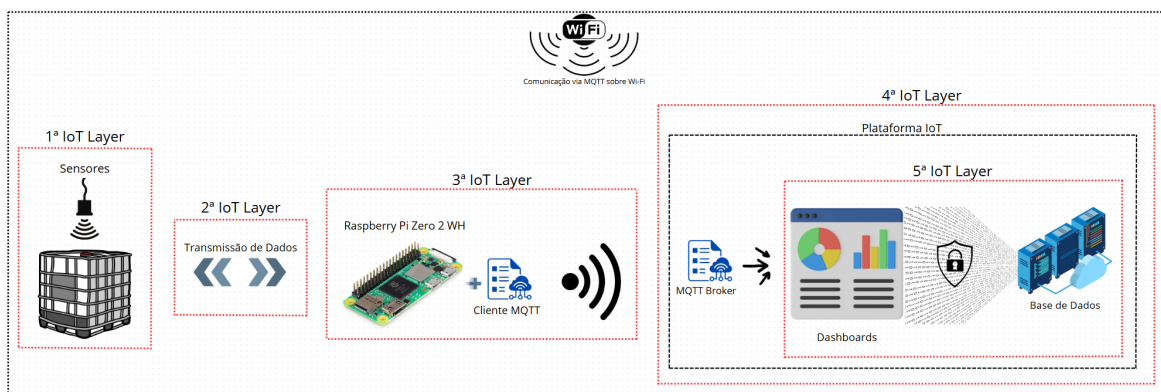


Figura 4.2: Desenho da arquitetura geral do funcionamento do sistema, dividido nas diversas camadas IoT.

## **4.9 Descrição do Funcionamento e das Componentes do Sistema**

Este sistema foi projetado e desenhado com um foco especial na robustez, modularidade e praticidade de manutenção.

A estrutura central é composta por um quadro elétrico que desempenha algumas funções essenciais ao funcionamento de todo o sistema, como a organização dos componentes, proteção elétrica e alojamento do microcontrolador responsável pela gestão e comunicação dos dados dos sensores.

Este quadro elétrico inclui separadores DIN, que permitem uma disposição eficiente e segura dos módulos internos, garantindo organização e facilidade de acesso.

Outra característica importante deste quadro elétrico é a integração de portas USB-A à prova de água. Estas portas permitem a ligação segura entre o microcontrolador e os sensores, assegurando que a entrada de humidade ou água não compromete o funcionamento do sistema.

Além disso, os cabos USB utilizados são do tipo USB-A, um padrão amplamente disponível, o que facilita a substituição em caso de falha ou desgaste, promovendo a durabilidade e fácil manutenção do sistema.

A ligação entre sensor ultrassónico e microcontrolador é estabelecida através de uma ligação à prova de água que passa pela tampa do depósito. Este sensor mede o nível do líquido dentro do tanque e transmite os dados ao microcontrolador, que está alojado de forma segura dentro do quadro elétrico.

A importância de ter equipamentos e componentes estanques e à prova de água é crucial para este sistema, minimizando o risco de falhas devido à exposição a ambientes húmidos ou à proximidade de líquidos.

Outro ponto crítico é o fornecimento de energia. O quadro elétrico também fornece alimentação direta ao microcontrolador, eliminando a necessidade de fontes de energia externas adicionais e simplificando a implementação do sistema.

Por fim, a estanquidade do sistema em geral é uma prioridade. A escolha de componentes à prova de água, desde conectores até sensores e entradas no quadro, reduz significativamente o risco de falhas causadas por infiltrações. Este cuidado torna o sistema ideal para implementar em ambientes industriais ou expostos a condições adversas, garantindo um desempenho confiável ao longo do tempo.

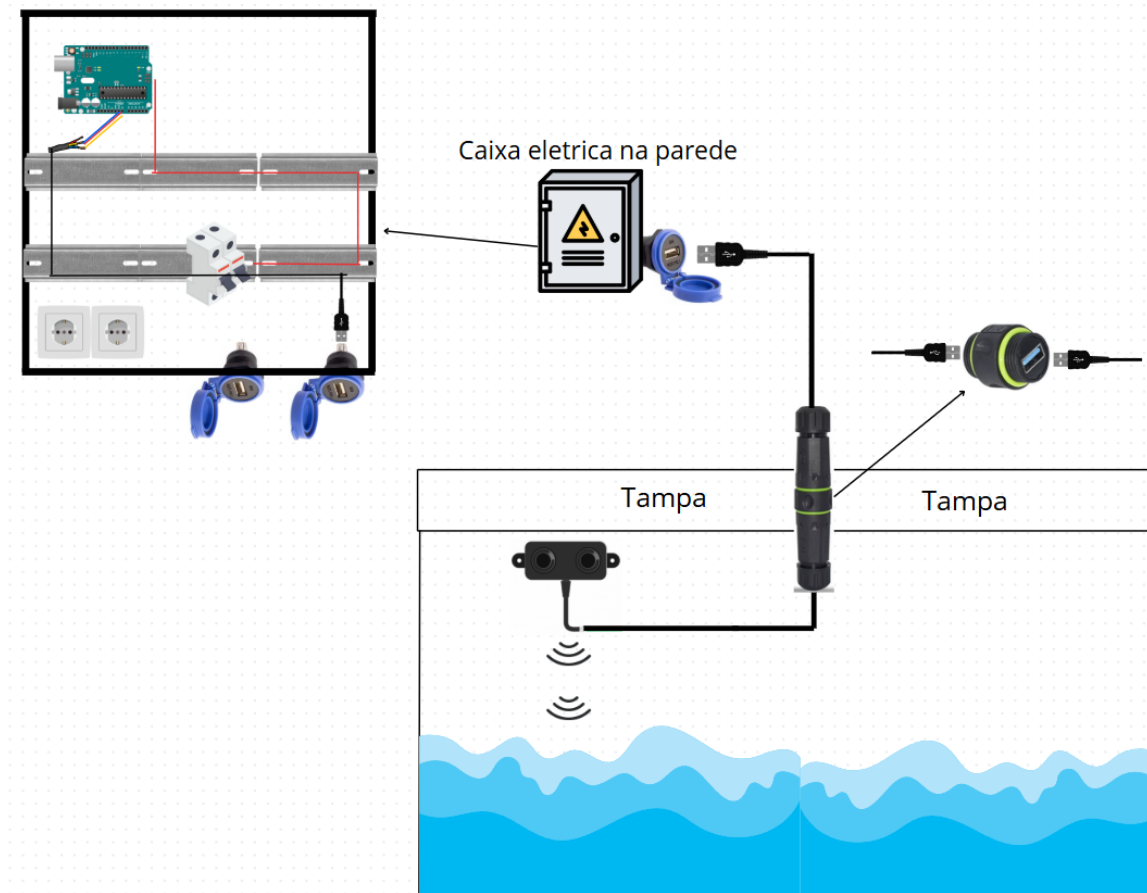


Figura 4.3: Esquema do sistema de monitorização com foco na organização dos componentes e na proteção contra fatores do ambiente industrial onde será instalado. A estrutura apresentada demonstra a disposição cuidada dos diversos elementos eletrónicos (como o microcontrolador, cablagem entre outros), garantindo acessibilidade para manutenção, proteção contra poeiras, humidade e vibrações.

## 4.10 Utilização de cabos USB-A

Neste projeto optamos pela utilização de cabos USB-A não para implementar a comunicação através do protocolo USB tradicional, mas como meio físico de transmissão de sinais entre os sensores e o microcontrolador.

Assim, os cabos USB são utilizados unicamente como um meio de ligação elétrica e física. Esta abordagem procura tirar partido da robustez do cabo USB e da modularidade oferecida pelos conectores USB, assegurando simultaneamente uma ligação fiável e económica para aplicar em ambiente industrial.

Ou seja, os cabos USB-A são amplamente disponíveis no mercado, de preferência um cabo mais resistente ou blindado, pois o local onde vão ser inseridos assim o exige. Os cabos possuem condutores internos, geralmente designados para funções específicas no protocolo USB: VCC (alimentação), GND (terra), Data+ e Data-(transmissão de dados).

O funcionamento deste sistema baseia-se na seguinte lógica: os sensores instalados nas tampas dos tanques recolhem informações sobre o estado dos mesmos, como, por exemplo, o nível de água contaminada.

Os sinais gerados pelos sensores são transmitidos através dos condutores Data+ e Data-do cabo USB até ao microcontrolador. Este último, localizado numa caixa elétrica montada numa calha DIN, processa os dados recebidos e envia as informações para uma plataforma IoT por meio de uma ligação sem fios.

Como os cabos USB-A são amplamente usados, os custos de aquisição são reduzidos, o que contribui para a viabilidade económica do projeto e a facilidade em substituir o cabo caso algo de errado aconteça.

A modularidade proporcionada pelos conectores USB também facilita futuras expansões ou modificações do sistema, como a adição de novos sensores. Adicionalmente, a utilização de cabos USB-A oferece uma forma organizada e padronizada de ligar os diferentes elementos do sistema, garantindo simplicidade e eficiência no “design” e na implementação.

Em suma, a ideia por trás desta abordagem baseia-se na simplicidade, modularidade e no custo-benefício, ao mesmo tempo que assegura um funcionamento bastante fiável e adequado ao ambiente industrial. Com este “design”, é possível estabelecer uma comunicação eficaz entre os sensores e o microcontrolador, utilizando assim os cabos USB-A como um meio físico prático, sem recorrer à complexidade dos protocolos USB, mas aproveitando todas as vantagens oferecidas pela sua estrutura.

#### **4.11 Lógica do Funcionamento de um Sensor Ultrassónico para Medição do Nível de Água**

O sensor ultrassónico, como o AO2YYUW, que é o sensor que vai ser usado para medir o nível de água nos tanques, é baseado na emissão de ondas ultrassónicas e na medição do tempo que estas ondas demoram a voltar para o sensor após serem refletidas no líquido contaminado. Este tempo é usado para calcular a distância entre o sensor e o nível da água.

O sensor vai ser implementado na parte de cima do tanque, junto à tampa, a apontar diretamente para baixo, em direção ao líquido contaminado.

A lógica de medição segue os seguintes passos:

- **Medição da Distância ao Nível da Água:** O sensor determina a distância entre si e a superfície da água, que é a principal medida a ser capturada;

- **Cálculo da Altura da Água:** A altura da água no tanque é obtida subtraindo a distância medida pelo sensor à altura total do tanque (altura máxima possível);
- **Definição de Níveis Críticos:** Com base nos valores medidos, são definidos limites, como o nível mínimo (indica que o tanque está quase vazio) e o nível máximo (indica que está cheio).

Este sistema é prático e eficaz para controlar a quantidade de água disponível, permitindo uma gestão eficiente.

A figura seguinte mostra o sensor instalado na tampa, na parte inferior da mesma, direcionado para baixo, emitindo ondas ultrassónicas em direção à superfície da água. A medição baseia-se no tempo que as ondas demoram a refletir na superfície líquida e regressar ao sensor, permitindo determinar a distância entre o sensor e o nível da água.

Com este valor, e com a devida adequação a cada caso específico, é possível calcular a altura em que o líquido se encontra dentro do tanque. Estão também assinalados os limites de operação (nível máximo e mínimo) e a zona de medição real, onde se situa o líquido.

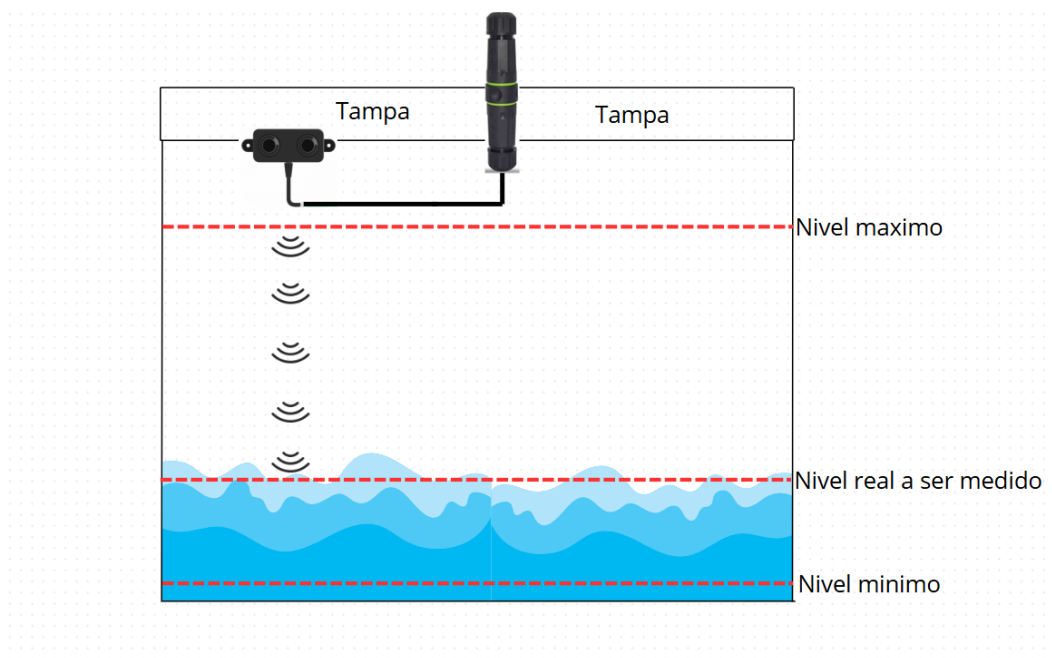


Figura 4.4: Esquema ilustrativo do funcionamento do sensor ultrassónico aplicado à medição do nível de água no tanque.

## 4.12 Incorporação de Inteligência no Sistema IoT

Através da capacidade de recolha e armazenamento de dados no sistema IoT desenvolvido, surge a oportunidade de adicionar uma camada de inteligência que permita não apenas monitorizar, mas também interpretar e possivelmente antecipar comportamentos nos reservatórios de líquido contaminado. Esta abordagem pode proporcionar uma gestão mais eficiente e proativa.

A integração de algoritmos de análise de dados e previsão abre portas para identificar padrões históricos, prever situações críticas e otimizar operações. Por exemplo, é possível implementar modelos que analisem as variações diárias e semanais nos níveis dos tanques, permitindo antecipar momentos em que os depósitos vão atingir os seus limites máximos ou mínimos. Com base nestas previsões, o sistema pode enviar alertas preventivos ou recomendar ações antes que um problema ocorra.

Para alcançar estas funcionalidades, é essencial processar os dados recolhidos de forma sistemática e integrá-los em dashboards intuitivos no ThingsBoard. Estas visualizações podem incluir gráficos de tendências ao longo do tempo, identificando períodos de maior consumo. Além disso, análises estatísticas, como médias e desvios padrão, podem ajudar a compreender o comportamento dos tanques sob diferentes condições operacionais.

Adicionalmente, a aplicação de algoritmos de *machine learning*, como regressões lineares ou redes neurais para séries temporais (como LSTM), pode ser explorada para prever situações críticas com maior precisão.

Por exemplo, ao treinar um modelo com os dados históricos, seria possível estimar o tempo restante até um tanque atingir o limite crítico, permitindo ao sistema agir de forma antecipada.

Outro benefício desta camada inteligente é a possibilidade de implementar ações automáticas baseadas nas previsões realizadas.

Com estas implementações, o sistema IoT passará de uma solução reativa para uma ferramenta proativa, trazendo benefícios como a redução de riscos, maior eficiência na operação e maior fiabilidade.

Esta abordagem inteligente pode então trazer benefícios, onde a tecnologia IoT interpreta e atua com base nos dados recolhidos.

# Capítulo 5

## Desenvolvimento do Sistema

### 5.1 Ligações dos Componentes

#### 5.1.1 Sensor e microcontrolador

No presente sistema, estabeleceu-se inicialmente uma ligação direta entre o sensor e o microcontrolador, para permitir a medição e a transmissão dos dados relativos ao nível da água, de forma a serem estabelecidos assim os primeiros testes tanto do sensor como do microcontrolador.

Para tal, foi realizada a ligação dos fios do sensor aos pinos do Raspberry Pi, designados para funções específicas.

O pino número 2 é designado de *Power*, sendo responsável por fornecer a energia necessária ao funcionamento normal do sensor.

O pino número 39 é designado por *Ground*, sendo responsável por assegurar o correto estabelecimento do potencial elétrico e a estabilidade do circuito.

O pino número 8 é designado por *Receiving of Data (RX)*, responsável por receber os dados enviados pelo sensor.

O pino número 10 é designado por *Transmission of Data (TX)*, responsável pela transmissão de dados provenientes do microcontrolador.

Esta configuração permite inicialmente uma comunicação mais eficaz e direta entre o sensor e o microcontrolador, essencial para a correta recolha e interpretação dos dados.

Para assegurar uma comunicação via interface UART, foi necessário realizar uma pré-configuração do microcontrolador, procedendo à ativação das portas UART correspondentes.

A implementação destas ligações físicas e configurações de comunicação constitui um pilar fundamental no desenvolvimento do sistema, permitindo que os dados adquiridos pelo sensor sejam corretamente processados e enviados para as etapas seguintes deste projeto, nomeadamente o tratamento dos dados e a sua visualização através da plataforma IoT.

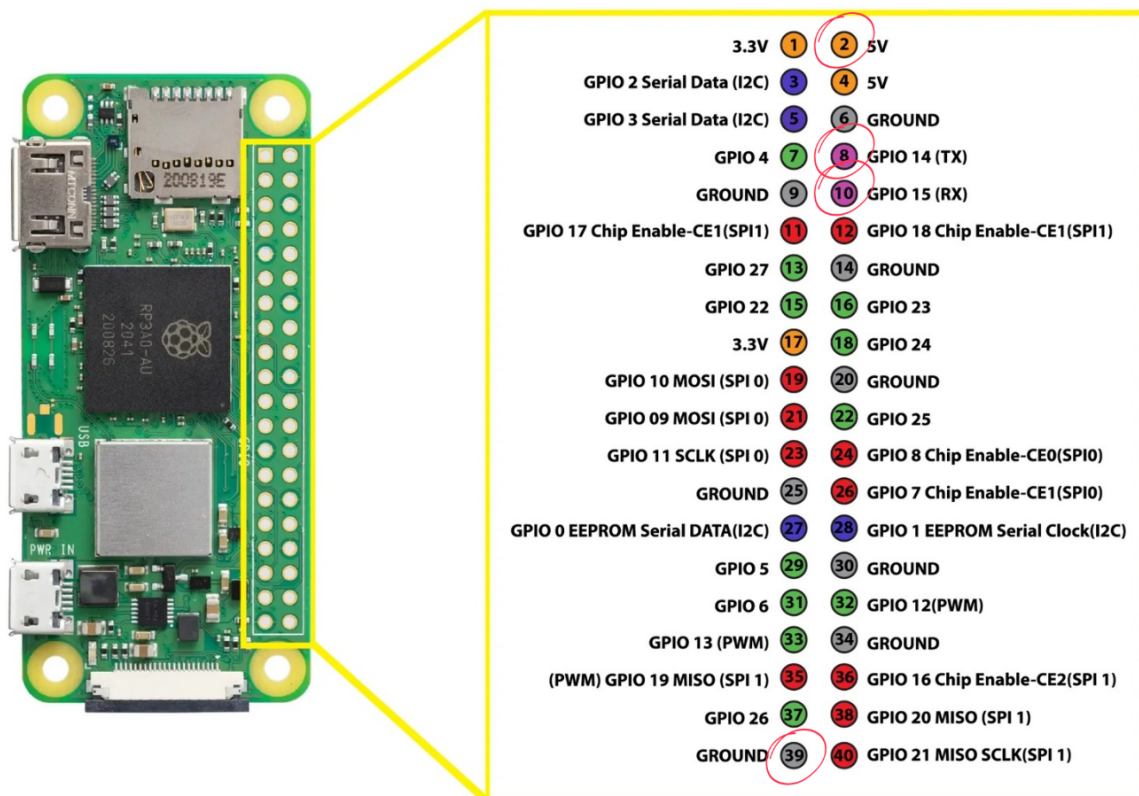


Figura 5.1: Esquema das ligações elétricas entre o sensor ultrassónico e o microcontrolador, com indicação explícita dos pinos utilizados visando garantir uma ligação correta e segura para a aquisição de dados. [Link para a imagem.](#)

### 5.1.2 Implementação do *Software*

No que diz respeito à instalação do sistema operativo, foi adotada a versão oficial do Raspberry Pi OS, nomeadamente a versão de 32 bits, para o Raspberry Pi Zero 2 WH.

Inicialmente, experimentou-se a utilização de uma outra versão do sistema operativo de 64 bits, contudo, foram detetados erros que comprometiam a estabilidade e a fiabilidade do sistema, o que inviabilizou a sua adoção para este projeto.

Assim, procedeu-se à instalação e configuração do *Raspbian* 32 bits, que demonstrou ser mais robusto e compatível com os requisitos deste sistema, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos e dos processos de comunicação disponíveis.

Para o sensor, foi necessário instalar *drivers* fornecidos pelo fabricante, que garantiram a correta interpretação dos sinais e a compatibilidade entre o sensor e o microcontrolador.

Estes *drivers* foram integrados no sistema operativo e configurados para assegurar uma comunicação eficaz, permitindo que os dados medidos fossem recolhidos e processados sem interferências.

Esta integração é fundamental para assegurar a transmissão contínua e precisa dos dados, facilitando o desenvolvimento posterior das funcionalidades de controlo e análise previstas para o projeto.

## 5.2 Desenvolvimento do *Software*

O desenvolvimento de *software* destina-se à aquisição, ao processamento e à transmissão dos dados recolhidos, de modo a monitorizar os níveis dos tanques.

Neste projeto, foi escolhida a linguagem *Python*, dada a sua elevada utilização, vasta disponibilidade de bibliotecas e compatibilidade com o ambiente do Raspberry Pi.

A estrutura do *software* está organizada em classes e funções que permitem uma gestão versátil das funcionalidades, abrangendo desde a inicialização do sensor e configuração do sistema até ao envio de dados para a plataforma IoT ThingsBoard, através de protocolos MQTT.

### 5.2.1 Estrutura dos Scripts e Lógica

O programa principal está dividido em duas classes principais, nomeadamente *SensorController* e *IoTDatabase*.

A primeira é responsável pela leitura de dados do sensor, tratamento dos dados, envio para a cloud via MQTT, gestão de energia e criação de registos locais em ficheiros de *log*.

O *IoTDatabase* é responsável pela criação, otimização e manutenção da base de dados local em *SQLite*. Cada vez que existe uma medição, para melhorar e garantir uma maior precisão das leituras, são recolhidas 200 medições consecutivas do sensor.

Como podem existir alterações repentinas nas medições devido a erros ou *outliers*, em vez de utilizar uma única medição, é calculada a mediana das 200 amostras, reduzindo assim a influência destas medições erradas.

O sistema tem também implementado um sistema de deteção de *outliers*, onde as medições que se desviam demasiado de um certo padrão são automaticamente descartadas essas medições erráticas.

É contabilizado o número de *outliers* em cada sessão, permitindo avaliar a estabilidade das medições.

Esta abordagem contribui para uma maior fiabilidade dos dados recolhidos pelo sistema, também armazenados localmente.

O sistema desenvolvido integra uma plataforma IoT, o envio de dados para esta plataforma utiliza protocolos de comunicação como o MQTT, um protocolo que se destaca pela sua leveza e eficiência do mesmo.

A comunicação com o ThingsBoard é realizada de forma periódica após o final das 200 medições, enviando-se parâmetros como a distância medida, percentagem do nível do tanque, temperatura do sistema, utilização do CPU e memória, estimativa da energia consumida pelo sistema e número de *outliers* detetados.

Este conjunto de informações permite não apenas controlar em tempo real o nível dos depósitos de água, mas também acompanhar a saúde e o desempenho do sistema de recolha de dados, facilitando intervenções preventivas e manutenção preditiva.

O sistema de logs está implementado de forma a gerar automaticamente ficheiros logs que permitem uma monitorização e um controlo contínuo do sistema IoT.

Os ficheiros são organizados de forma cronológica e segmentados por períodos, onde a criação dos mesmos é feita diariamente e semanalmente. Estes ficheiros contêm informação

importante como as diversas medições realizadas, as condições gerais do sistema, mensagens de erros e alertas caso algo não corra como previsto.

Para assegurar a persistência e facilitar o acesso aos dados, foi implementado um sistema de *backup* automático dos *logs* através da plataforma *Dropbox*. Esta funcionalidade permite que estes ficheiros sejam copiados periodicamente para uma localização remota, permitindo assim um fácil acesso aos dados mesmo que exista uma falha local, aumentando a resiliência do sistema. Este sistema contribui para a análise de desempenho ao longo do tempo e facilita possíveis análises futuras.

Garantir a estabilidade e fiabilidade do sistema desenvolvido é um aspeto importante, posto isto, foram integradas algumas funcionalidades específicas para lidar com falhas na comunicação e problemas de operação em geral.

Em caso de perda de ligação ao servidor MQTT, o sistema é capaz de detetar automaticamente a falha e realizar logo tentativas de ligação, assegurando a continuidade do envio de dados para a plataforma IoT.

Adicionalmente, são realizadas verificações periódicas ao estado da ligação Wi-Fi, o que permite atuar proativamente em situações de instabilidade da rede. O sistema incorpora também uma característica de monitorização interna que recolhe e regista os diversos parâmetros do próprio dispositivo.

Entre os dados recolhidos estão a temperatura do CPU, o espaço livre no armazenamento, o sinal Wi-Fi e o tempo de funcionamento desde o último reinício.

### 5.2.2 Armazenamento e Gestão de Dados

Com o principal objetivo de garantir a persistência local dos dados e a independência temporária da ligação com a plataforma IoT, o sistema implementa uma base de dados local em *SQLite*, para uma melhor gestão dos recursos que estão disponíveis.

Esta base de dados recolhe todas as leituras dos sensores, bem como a informação sobre o estado interno do dispositivo. Posto isto, a estrutura da base de dados encontra-se organizada em duas tabelas principais, nomeadamente a tabela *readings*, que guarda os valores medidos pelo sensor, e a tabela *system\_health*, onde são registados parâmetros internos como a temperatura do CPU, uso de memória e o sinal Wi-Fi.

Para manter o desempenho da base de dados ao longo do tempo e controlar o espaço de armazenamento utilizado, são realizadas várias operações de manutenção de forma automática. Estas incluem a execução periódica de *vacuum incremental*, que permite libertar espaço não utilizado de forma mais eficiente, e a análise de índices para garantir que as consultas dos dados mantêm tempos de resposta adequados.

Adicionalmente, foi implementado também um mecanismo de eliminação de registos antigos com mais de 90 dias, para evitar o crescimento indefinido da base de dados.

Complementando, a gestão dos ficheiros *log* é feita com recurso ao *RotatingFileHandler*, permitindo controlar o tamanho dos ficheiros e manter uma rotação regular dos mesmos. Além disso, os ficheiros *log* e a base de dados são sincronizados automaticamente com uma conta *Dropbox* associada, o que facilita o acesso remoto aos dados históricos e assegura uma cópia de segurança em caso de falha do dispositivo local.

### 5.2.3 Implementação de Inteligência Artificial no Sistema de Monitorização

Não sendo uma característica fundamental para o normal funcionamento do sistema, no entanto, com o objetivo de tentar adicionar uma componente preditiva e inteligente ao sistema IoT, foi pensada e desenvolvida uma solução que permite prever, com base em dados históricos que estão armazenados na base de dados, os dias da semana onde existe potencialmente uma maior probabilidade dos tanques em análise atingirem níveis críticos. Esta análise preditiva é feita de maneira automática, e os resultados são apresentados diretamente na plataforma IoT para uma maior facilidade na sua visualização.

Esta funcionalidade é implementada com base na análise dos dados recolhidos localmente ao longo do tempo que estão guardados diretamente na base de dados *SQLite*.

A estratégia de previsão pensada para a implementação foi através do modelo de regressão linear, um modelo simples, mas eficaz que prevê a relação entre variáveis com base nos dados históricos do sistema.

O programa inicia com a recolha dos dados históricos dos últimos 90 dias, extraindo diretamente esses dados da base de dados onde os mesmos estão guardados. Durante esta recolha de dados, os mesmos são processados e associados a um identificador de dia, ou seja, de 1 a 5, que corresponde de segunda a sexta-feira, e são marcados com nível crítico todas as medições que atinjam ou ultrapassem os 85% de capacidade do tanque.

Após esta preparação de dados estar concluída, os mesmos são agrupados por dia da semana, calcula-se a proporção de vezes em que o tanque foi considerado cheio. Essa proporção é então usada como variável dependente para treinar o modelo de regressão linear utilizando bibliotecas como o *scikit-learn*. O modelo resultante deste processo permite gerar previsões contínuas da probabilidade de atingir níveis críticos em cada dia útil da semana. Estas probabilidades são então limitadas entre 0% e 100%, sendo depois arredondadas apenas por uma questão de facilidade de visualização.

O sistema, ao estar totalmente finalizado, pronto a operar e implementado na área industrial designada, é expectável que a precisão e a qualidade das previsões efetuadas melhorem gradualmente ao longo do tempo. À medida que são recolhidos cada vez mais dados reais, como medições periódicas, variações destes níveis críticos, entre outros, o modelo tem acesso a uma base de dados cada vez mais rica e representativa do que é o normal funcionamento do sistema. Este enriquecimento constante permite não só ajustar parâmetros internos, como também, obviamente, reduzir possíveis erros das previsões e, conseqüentemente, aumentar assim a sua fiabilidade.

Depois de obter estes dados probabilísticos, o sistema procede, então, ao envio automático destas previsões para a plataforma onde existem *dashboards* que expõem esta informação IoT, utilizando o protocolo MQTT.

Além de gerar previsões ao longo da semana, o sistema inclui também uma avaliação de pre-

cisão do modelo. Compara as previsões do modelo com os dados reais observados na semana anterior, permitindo assim calcular algumas métricas informativas como erro absoluto médio e *accuracy* média. Estes valores servem como indicadores de fiabilidade da previsão e capacidade do modelo se adaptar ao comportamento real do sistema com o passar do tempo.

Esta integração de inteligência artificial permite uma solução mais inteligente e preditiva, com o potencial de melhorar a tomada de decisões operacionais, tais como otimização de rotinas de manutenção, alerta prévio de níveis críticos e gestão eficiente dos recursos associados ao tanque.

#### 5.2.4 Notificações de Utilizador

Neste sistema de monitorização, o desenvolvimento de notificações assume um papel importante para garantir o normal funcionamento das operações, mas também garantir segurança e fiabilidade no sistema.

O sistema foi desenhado com uma lógica de alertas automáticos, na qual visa informar os utilizadores sempre que exista uma situação crítica a acontecer, como, por exemplo, caso o nível dos tanques ultrapasse os 85% ou quando são detetadas leituras anómalas que possam indiciar falhas no funcionamento.

Este tipo de alertas é apresentado diretamente na plataforma *ThingsBoard* por meio de dashboards, permitindo uma visualização clara e imediata do estado do sistema. Reforçando a eficácia de resposta, o sistema foi também configurado para enviar automaticamente um e-mail e um SMS, assegurando assim que os responsáveis operacionais são informados em tempo real, mesmo que não se encontrem com acesso direto à plataforma.

Este tipo de notificações do sistema pode evitar danos, permite a tomada de decisões rápidas e informadas, melhorando a capacidade de reação a incidentes, o que é essencial num sistema de monitorização fiável e eficiente.

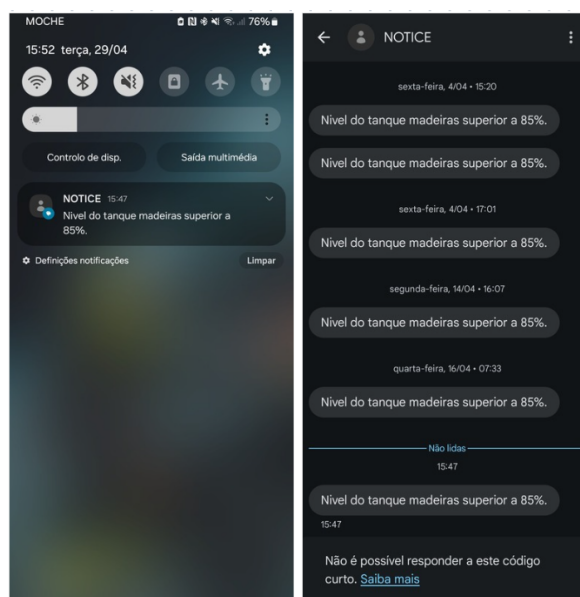


Figura 5.2: Representação da receção de notificações por SMS, após acontecerem os níveis críticos do tanque.

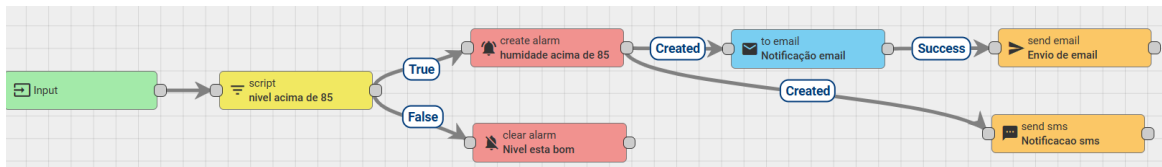


Figura 5.3: Desenho específico do funcionamento da *Rule chains* de notificação diretamente na plataforma IoT.

## 5.3 Dashboards na Plataforma IoT

Nesta secção vão ser apresentados os diversos dashboards de controlo do sistema IoT que está implementado na plataforma *ThingsBoard*. Permite acompanhar tanto em tempo real como obter os dados históricos ao longo do tempo dos diversos parâmetros de monitorização.

### 5.3.1 Dashboards de Indicador de Nível Atual

Aqui mostra, em destaque, a percentagem de nível do tanque no instante mais recente, permitindo uma consulta imediata do estado operacional. É também apresentado um *Dashboard* dinâmico que representa uma visualização mais "real" e interativa, de forma a facilitar a visualização, reforçando a perceção volumétrica do nível do tanque, que desce e sobe no

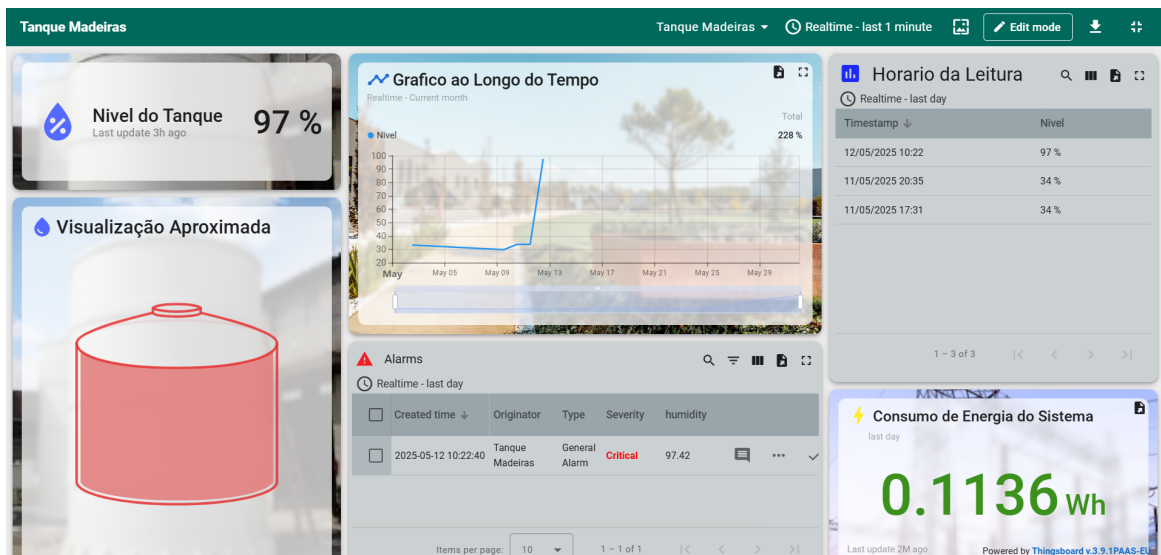


Figura 5.4: Visão geral da interface de visualização na plataforma ThingsBoard. A imagem apresenta a página principal do sistema IoT na plataforma ThingsBoard, onde estão reunidos os diferentes dashboards implementados. Estes dashboards permitem ao utilizador aceder de forma centralizada a diversas funcionalidades do sistema, como o acompanhamento em tempo real dos níveis dos tanques, histórico de medições, previsões de níveis críticos, consumo energético estimado e notificações de alerta.

*Dashboard*, que, quando atinge níveis críticos, muda de cor para vermelho para realçar isso mesmo.



Figura 5.5: Representação real dos dashboards dos níveis atuais dos tanques, tanto quando o mesmo está vazio como cheio.

### 5.3.2 Dashboards de Gráficos ao Longo do Tempo

Apresenta a evolução histórica do nível do tanque ao longo de todo o mês em curso, numa série temporal que facilita a identificação de tendências e padrões de consumo ou possíveis manutenções.

Disponibiliza também um widget tipo tabela que lista cronologicamente as últimas medições registadas no dia (podendo sempre mudar a janela temporal da amostra), permitindo a

auditoria rápida dos valores concretos.

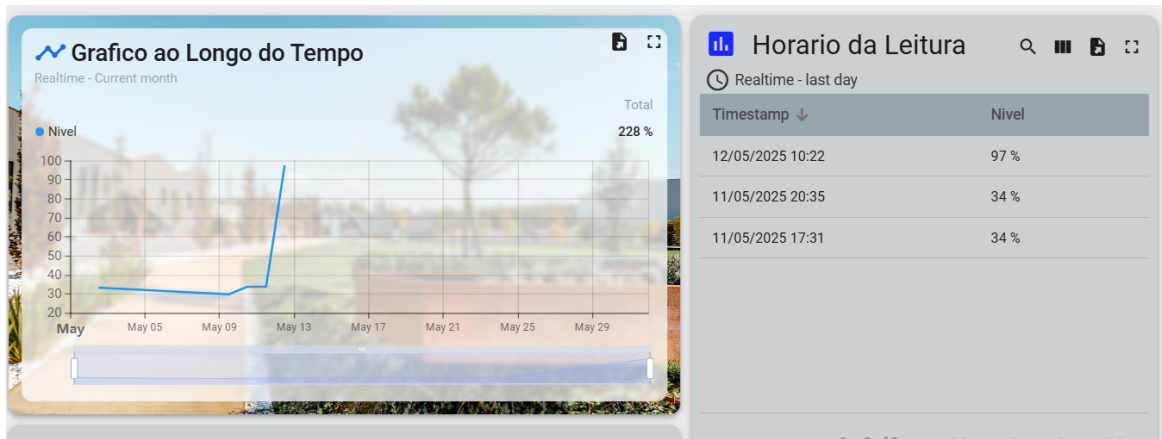


Figura 5.6: A imagem representa os *Dashboards* dos gráficos temporais que permitem acompanhar a evolução dos níveis críticos dos tanques, permite acompanhar mensalmente de forma a perceber tendências como o acompanhamento das leituras nas últimas 24 horas.

### 5.3.3 *Dashboards* de Notificações

O dashboard de notificações e alarmes tem como principal objetivo alertar os utilizadores para situações críticas. Quando isto acontece, é automaticamente ativado um alarme visual no painel da plataforma IoT. Estes alarmes aparecem destacados no dashboard com informações como o tipo de alarme, a sua gravidade (por exemplo, *Critical*), o momento em que ocorreu e o valor associado.

Para garantir uma resposta rápida e eficaz, o sistema foi também configurado para enviar notificações automáticas por e-mail e SMS para os responsáveis operacionais sempre que um destes eventos ocorre.

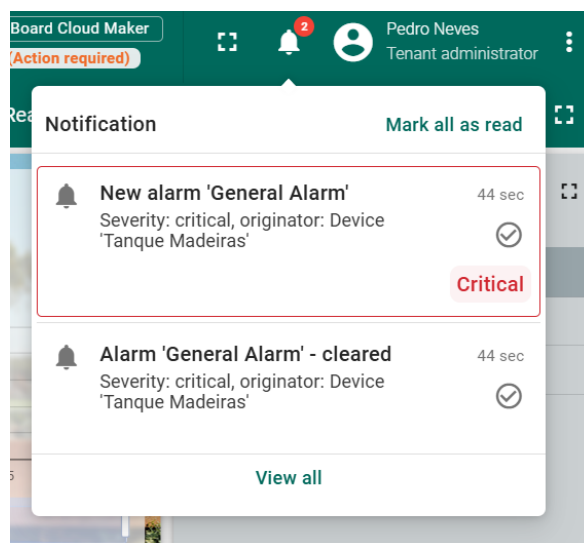


Figura 5.7: A figura ilustra notificações de alerta que não estão diretamente na página de *dashboards*, mas que estão diretamente na plataforma IoT, independentemente de que página o utilizador estiver no momento, a notificação aparece sempre no canto superior direito.

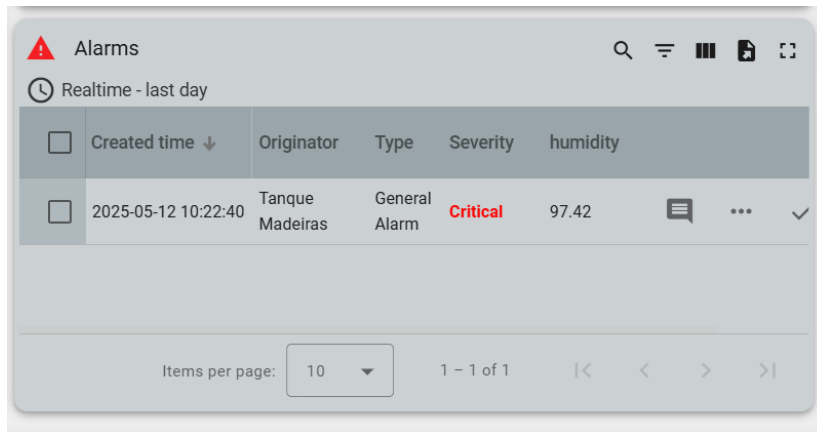


Figura 5.8: Representação real do *dashboard* de notificação, ativada quando o nível de um tanque atinge valores críticos. Neste *dashboard* podemos ver algumas informações sobre a notificação como o dia e hora que surgiu, o tipo, a gravidade da notificação, o nível do tanque quando surgiu a notificação e o descarte da mesma caso o utilizador assim pretenda.

#### 5.3.4 *Dashboards* de Previsão

O *Dashboard* de previsão integra componentes de inteligência artificial com o objetivo de antecipar possíveis comportamentos futuros. Este painel apresenta, de forma visual e intuitiva, a probabilidade dos tanques atingirem os níveis críticos.

A informação é exibida num gráfico de barras, onde cada coluna representa um dia da semana (de segunda a sexta-feira), e a altura da barra corresponde à percentagem de probabilidade de atingir um nível crítico.

Esta análise pode facilitar o planeamento de operações como limpezas, drenagens ou intervenções preventivas.

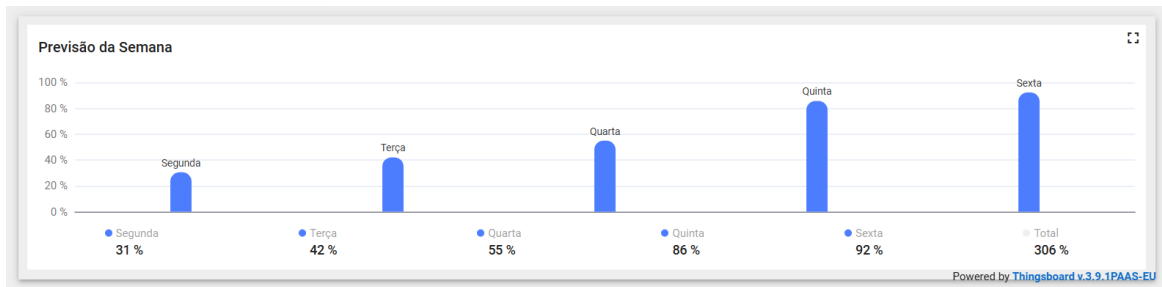


Figura 5.9: A imagem representa o *dashboard* de previsão de níveis críticos do tanque com base em inteligência artificial. Este *dashboard* exibe a probabilidade, em porcentagem, do tanque atingir níveis críticos em cada dia útil da semana.

### 5.3.5 Dashboards de Consumo de Energia

O sistema desenvolvido inclui um mecanismo de estimativa do consumo energético do sistema, cujo resultado é apresentado de forma clara e acessível no *dashboard* da plataforma IoT *ThingsBoard*.

A forma como é calculada a estimativa de energia é uma forma indireta, sem o uso de sensores físicos de medição de corrente elétrica. O sistema utiliza então uma abordagem baseada em inferência, considerando o tempo de funcionamento e o grau de utilização do CPU do *Raspberry Pi*, bem como o consumo estimado do sensor. O método adotado assume uma corrente base de aproximadamente 0.2 Amperes (A), que reflete o consumo mínimo do *Raspberry Pi Zero 2* Watt-hora (Wh) e do sensor em modo de repouso. Adicionalmente, é aplicada uma componente dinâmica proporcional ao uso da CPU, assumindo assim um acréscimo de até 0.3 A quando o sistema opera a plena carga.

$$\text{Energia (Wh)} = \text{Voltagem (V)} \times \text{Corrente Total (A)} \times \frac{\text{Tempo Decorrido (s)}}{3600}$$



Figura 5.10: A imagem representa o *dashboard* de estimativa do consumo energético do sistema. O *dashboard* é responsável por exibir o consumo energético estimado do sistema IoT, com base em parâmetros como tempo de atividade, utilização do processador e comportamento do sensor.

## 5.4 Controlo de Acesso e Segurança

No que diz respeito à segurança e ao controlo de acesso, o sistema tira bastante partido das diversas funcionalidades do *ThingsBoard Cloud* e do próprio protocolo de comunicação MQTT, para garantir e aumentar a segurança do sistema desenvolvido, assegurando que apenas utilizadores específicos consigam alterar ou analisar os dados.

Dentro da plataforma, para se aceder aos dados, *dashboards* e outras funcionalidades, existem alguns papéis aos quais os utilizadores podem ser associados. Existe o papel de **Admin**, que tem acesso total a dispositivos, dashboards, dados e configurações. O papel de **Customer User**, que já tem um acesso mais restrito que o papel anterior, mas ainda permite acesso limitado a dashboards e dispositivos. Por último, temos o **Public User**, que possui um acesso muito mais restrito e consegue apenas aceder a dashboards públicos que não requerem autenticação.

Cada dispositivo tem de se autenticar com o MQTT *broker* do *ThingsBoard*, que neste caso é o *Raspberry Pi*, através de um **token único** associado a um *device* previamente criado na plataforma. Este *token* é fornecido ao *script* principal por variável de ambiente. Para além da autenticação, o *ThingsBoard Cloud* suporta o protocolo TLS como camada de encriptação do canal MQTT, garantindo que os dados da telemetria viajem criptografados e não possam ser interceptados por terceiros.

## 5.5 Implementação e Instalação Final do Sistema

Nesta secção, vai ser apresentada a instalação final do sistema IoT no local pretendido do parque industrial do Grupo TESTA. Vão então sendo apresentados diversos registos fotográficos onde o sistema foi implementado e instalado.

A sua implementação deu-se na fase final do processo de desenvolvimento, onde o mesmo foi integrado em ambiente industrial real.

Ao longo do processo de montagem e instalação, surgiram alguns desafios logísticos que influenciaram diretamente o calendário inicialmente previsto. Apesar destes constrangimentos, o sistema foi concluído e implementado com sucesso, conforme o previsto.

As imagens seguintes ilustram, então, o local onde o sistema foi implementado e o resultado final da sua instalação.

A Figura 5.11 mostra o local escolhido para a implementação do sistema numa das zonas do parque industrial do Grupo TESTA: um tanque dedicado ao armazenamento de águas contaminadas, proveniente da utilização de ar comprimido, localizado numa zona industrial com maquinaria e compressores industriais. A escolha do local teve em conta fatores como acessibilidade, segurança e a necessidade real de uma maior monitorização daquele espaço. Na Figura 5.12, observa-se aquilo que podemos chamar de "núcleo de controlo e processa-



Figura 5.11: Esta imagem mostra o local e o tanque de água contaminada onde o sistema IoT foi implementado. Esta é uma das áreas dedicadas apenas a compressores indústrias e maquinaria industrial.

mento”, composto essencialmente por um *Raspberry Pi Zero WH*, devidamente protegido por uma caixa técnica estanque, colocada e fixada na parede junto ao tanque de água contaminada, garantindo assim proteção contra poeiras e humidade, adequando-se às exigências do ambiente industrial onde foi inserido.

Na imagem 5.12, é possível observar a organização da instalação elétrica, com o *Raspberry Pi* conectado ao sensor ultrassónico através de um cabo com terminação USB-A fêmea-fêmea, utilizado apenas como meio físico de transporte dos sinais elétricos, garantindo simplicidade e substituição fácil.



Figura 5.12: Caixa técnica com instalação elétrica e um *Raspberry Pi* montada na parede, ligada ao sensor inserido no tanque, junto a esta caixa técnica.

A Figura 5.13 apresenta o sensor ultrassónico, fixado na tampa do tanque com orientação vertical. A escolha da posição teve em consideração as medições feitas previamente ao local e ao raio de ação do sensor, garantindo medições fiáveis, sem interferência de saliências. O sensor está bem fixado e alinhado, permitindo medições contínuas e precisas do nível de líquido.



Figura 5.13: Representação do sensor ultrassónico instalado na tampa do tanque, orientado diretamente para baixo.

Por fim, a Figura 5.14 fornece uma visão geral do sistema IoT já integrado no local industrial adequado. A imagem demonstra a integração discreta e eficaz do sistema no ambiente industrial, sem interferir com as operações normais da área.

Toda a instalação foi cuidadosamente planeada para garantir robustez e durabilidade, recorrendo a componentes apropriados, como caixas técnicas estanques, adaptadores USB impermeáveis e cabos reforçados, assegurando proteção contra agentes externos.

A implementação foi pensada para ser o menos intrusiva possível, não interferindo com as operações normais do local.



Figura 5.14: A imagem representa visão geral da instalação final do sistema IoT no ambiente industrial.

# Capítulo 6

## Conclusão e Testes Realizados

### 6.1 Testes Realizados

Antes de tentar implementar qualquer dispositivo em separado num protótipo que seja viável e funcional, realizaram-se diversos testes abrangentes a cada componente de modo a garantir a robustez e fiabilidade de um sistema final.

Em primeiro lugar, o *Raspberry Pi Zero 2 WH* foi submetido a testes iniciais normais de *boot*, verificação de todas as portas General Purpose Input/Output (GPIO), e testes de desempenho do sistema operativo. Durante estes testes, foram verificadas algumas instabilidades do sistema operativo na versão 64 bits do *Raspberry Pi OS*, desde falhas ao iniciar o sistema, mau funcionamento na gestão de memória e falhas do normal comportamento das portas UART. Por este motivo, optou-se por uma versão do sistema operativo que fosse mais estável e fiável para o normal funcionamento do sistema.

O sensor ultrassónico foi também avaliado individualmente, testando a sua durabilidade e impermeabilidade. Desta forma, conseguimos garantir que o sensor é adequado para o projeto. Em paralelo, foram feitas medições do seu raio de ação, identificaram-se *dead zones* e determinou-se o intervalo máximo de ação em ambiente controlado. Foram também realizados testes comparativos entre as medições feitas pelo sensor e a correspondência na realidade, verificando-se ligeiros ajustes que têm que ser levados em conta para a implementação final. Testes de *outliers* também foram realizados de modo a verificar se o sistema consegue detetar e descartar os mesmos, de forma a não afetar as medições finais. Ou seja, durante o normal funcionamento do sistema, foram implementados *outliers* e leituras pouco credíveis, verificando assim se o sistema iria atuar como o pretendido.

Posteriormente, procedeu-se ao levantamento de medidas reais, quer dos tanques, quer do sítio onde o sistema vai ser implementado, mitigando assim possíveis erros na posição do sensor, obstáculos ambientais e variações de temperatura. Este estudo permitiu ajustar o posicionamento de montagem e minimizar possíveis interferências.

Para a avaliação do sistema face a falhas de comunicação, foram feitas simulações de quebra de ligação Wi-Fi e cortes de energia controlados. Foram validados mecanismos de ligação automática, quer ao MQTT *broker*, quer à rede Wi-Fi. Foi também testada a capacidade do *script* de retomar medições sem perdas de dados, graças à persistência local em SQLite e ao armazenamento de registos pendentes para envio posterior.

Como referido anteriormente, foram realizados testes em que o acesso à rede é intencional-

mente interrompido, de forma a verificar se o sistema, ao não conseguir enviar os dados da telemetria mediante MQTT, procede então a guardar estes dados automaticamente numa fila até estes serem enviados com sucesso. Com a ligação restabelecida, o sistema foi capaz de reenviar automaticamente os dados pretendidos para a plataforma IoT. O teste visa que, mesmo perante indisponibilidade temporária da rede ou do *broker*, os dados não sejam perdidos, mantendo a integridade da série temporal na plataforma IoT.

O envio semanal dos ficheiros *logs* para a *Dropbox* também foi testado, permitindo assim um acesso mais facilitado mesmo em caso de falha local.

Como o sistema vai estar a correr todos os dias durante toda a semana, foi necessário submeter o mesmo a testes de execução de longa duração, ou seja, a operar normalmente durante vários dias seguidos. Foram monitorizados diversos parâmetros relacionados com a saúde do dispositivo, como temperatura, utilização de memória, entre outros. Durante estes testes, onde o sistema foi submetido várias vezes a testes de 3 a 4 dias seguidos, foram identificados alguns erros, que foram sendo corrigidos conforme os testes se iam realizando. Posto isto, com base nos resultados obtidos durante os testes, foram refinados diversos parâmetros, como o intervalo de leituras e verificações periódicas do estado do sistema, para ativar alarmes internos ou reiniciar processos críticos antes de ocorrer uma falha total.

Para avaliar a resiliência do sistema face a falhas súbitas de energia, foram realizados testes de corte de energia em diferentes fases do normal ciclo de operação. Verificou-se que, após estes testes, o sistema, ao reiniciar, retoma o seu funcionamento normal, sem perda de dados, pois a fila de mensagens previamente guardada é lida corretamente e o processo de reenvio é iniciado automaticamente.

Foram igualmente testados os mecanismos de notificação automática do sistema, simulando-se que os tanques atingem os níveis críticos, de forma a verificar se as notificações são enviadas corretamente. Este tipo de redundância na comunicação é essencial para maximizar o conhecimento dos operadores, garantindo que situações de risco são detetadas e comunicadas atempadamente.

Estes foram alguns dos testes realizados ao longo do desenvolvimento do protótipo, o que permite identificar pontos frágeis, otimizar parâmetros de configuração e certificar que o sistema IoT cumpre os requisitos de fiabilidade e operacionalidade exigidos para um ambiente industrial.

## **6.2 Conclusão**

A conceção e o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo primário a implementação e validação de um sistema IoT, com destino à monitorização e a um maior controlo de tanques de água contaminada por todo o parque industrial do Grupo TESTA.

Com uma abordagem prática e tecnologicamente atual, o projeto alcançou os objetivos previ-

amente delineados, nomeadamente a construção de um protótipo funcional, fácil de replicar, baixo custo de aquisição e manutenção. Ao longo do estágio foi possível aplicar conhecimento ao longo do percurso académico, bem como desenvolver e explorar novas competências como exemplo na área da eletrónica, microcontroladores e integração com plataformas IoT.

A implementação de uma plataforma IoT como a *ThingsBoard*, que era um dos requisitos iniciais da empresa, proporcionou ao sistema demonstrar ser escalável, seguro e adaptável a diferentes requisitos operacionais. A criação de diversos *dashboards*, quer em tempo real, quer por meio histórico, e a introdução de algoritmos preditivos representaram um passo significativo rumo à automação inteligente e à gestão preditiva dos recursos industriais. Posto isto, constitui assim um bom ponto de partida para a empresa onde seja possível cada vez mais apostar em otimização e em tecnologias como sistemas IoT.

A experiência prática num ambiente empresarial e num ambiente de produção contribuiu significativamente para amadurecimento não só a nível técnico como pessoal, pois, apesar do percurso académico ser bastante importante para a nossa formação, estar fisicamente num ambiente profissional de produção e empresarial é totalmente diferente, fornecendo assim conhecimento valioso e essencial de como as empresas e a indústria operam nos dias que correm.

Por fim, este projeto evidenciou um impacto importante e positivo. Visto que a empresa não costuma trabalhar com sistemas IoT, este projeto abre as portas para que cada vez mais se olhe para uma indústria mais otimizada, facilitando assim a vida aos operadores que trabalham diariamente na mesma. Com o objetivo de melhorar a eficiência dos processos industriais, este projeto destaca-se como uma aplicação prática, concreta e pronta para ser implementada de imediato por todo o parque industrial. O conhecimento adquirido e as competências desenvolvidas são testemunho de uma aprendizagem profunda, orientada para a inovação, para a resolução de problemas reais com soluções tecnológicas inteligentes, práticas e viáveis.



# Bibliografia

- [1] TRIA SA. Tria - soluções tecnológicas e sustentáveis. [Online]. Available: <https://www.tria.pt/pt/> 2
- [2] Grupo Testa. Grupo testa. [Online]. Available: <https://www.testa.pt/pt-pt/> 3
- [3] ThingsBoard. thingsboard open-source iot platform. [Online]. Available: <https://thingsboard.io/> 18
- [4] Blynk. Blynk iot cloud platform. [Online]. Available: <https://blynk.io/> 22
- [5] Node-RED. Node-red. [Online]. Available: <https://nodered.org/> 24
- [6] Adafruit IO. Adafruit io. [Online]. Available: <https://io.adafruit.com/> 26
- [7] Ubidots. Ubidots. [Online]. Available: <https://ubidots.com/> 28
- [8] Kaa. Kaa. [Online]. Available: <https://www.kaaiot.com/> 30
- [9] Matheus da Silva Andrade. Zabbix na prática: Implementação de monitoramento para controle de caixa d'aguas. [Online]. Available: <https://blog.zabbix.com/pt/zabbix-na-pratica-implementacao-de-monitoramento-para-controle-de-caixa-daguas/19479/> 32
- [10] Sigfox. Sigfox. [Online]. Available: <https://partners.sigfox.com/products/azure-iot-suite-remote-monitoring> 33
- [11] Libelium. Libelium. [Online]. Available: <https://www.libelium.com/> 33
- [12] Disrupt-X. Disrupt-x smart water tank monitoring. [Online]. Available: <https://disrupt-x.io/ignite-shield/water-monitoring/smart-water-quality-monitoring/smart-water-tank-monitoring/> 34
- [13] Schneider Electric. Schneider electric. [Online]. Available: <https://www.se.com/ww/en/> 35
- [14] Flume. Flume. [Online]. Available: <https://flumewater.com/> 36
- [15] Ellenex. Ellenex. [Online]. Available: <https://ellenex.shop/plug-and-play-water-tank-level-monitoring-solution/> 37
- [16] F. Jan, N. Min-Allah, S. Saeed, S. Z. Iqbal, and R. Ahmed, "Iot-based solutions to monitor water level, leakage, and motor control for smart water tanks," *Water*, vol. 14, no. 3, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/309> 37
- [17] Siemens. Siemens. [Online]. Available: <https://www.siemens.com/pt/pt/empresa/stories/industria/2021/sistemas-de-tratamento-de-agua-um-recurso-valioso-para-o-ambiente.html> 38

- [18] N. Min-Allah, M. Farooqui, A. Alwashmi, S. Almahasheer, M. Alsufayyan, and N. Altulaihan, "Smart monitoring of water tanks in ksa," in *2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2018, pp. 1044–1047. 39
- [19] S. Kulkarni, V. D. Raikar, B. K. Rahul, L. V. Rakshitha, K. Sharanya, and V. Jha, "Intelligent water level monitoring system using iot," in *2020 IEEE International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (iSSSC)*, 2020, pp. 1–5. 40
- [20] A. Dogra, A. Badhoutiya, B. Goyal, K. Kriplani, A. Juyal, and H. Kaur, "Revolutionizing water level monitoring with the wi-fi board," in *2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2024, pp. 499–503. 40
- [21] J. Pan, Y. Yin, J. Xiong, W. Luo, G. Gui, and H. Sari, "Deep learning-based unmanned surveillance systems for observing water levels," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 73 561–73 571, 2018. 41