



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**Licenciatura em Engenharia Informática**

**Proposta de Integração de Sensores de Presença no Sistema m  
Estacionamento do Município da Cidade de Maputo**

**Caso de estudo:** EMME – Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento

**Autor:**

PAULO, Wírzio Armando

**Supervisor:**

Mestre Délcio Arnaldo Chadreca, Eng<sup>o</sup>

**Maputo, Novembro de 2024**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**Licenciatura em Engenharia Informática**

**Proposta de Integração de Sensores de Presença no Sistema m  
Estacionamento do Município da Cidade de Maputo**

**Caso de estudo:** EMME – Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento

**Autor:**

PAULO, Wírzio Armando

**Supervisor:**

Mestre Délcio Arnaldo Chadreca, Eng<sup>o</sup>

**Maputo, Novembro de 2024**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante **Wírzio Armando Paulo** entregou no dia 18/11/2024, as 03 cópias do seu relatório de Trabalho de Licenciatura com referência \_\_\_\_\_, intitulado: **Proposta de Integração de Sensores de Presença no Sistema m-Estacionamento do Município da Cidade de Maputo**. Caso de Estudo: Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento.

Maputo, 18 de Novembro de 2024

A Chefe da Secretaria do DEEL

---

## Dedicatória

Dedico este trabalho a todos!

## **Agradecimentos**

Agradecer especialmente ao meu amigo José João Macamo pela motivação para estar na Faculdade de Engenharia, se não fosse por sua motivação, com toda certeza não estaria frequentando o curso de Engenharia.

Agradecer especialmente ao docente Délcio Chadreca pelo acompanhamento e supervisão durante todo o processo de realização do trabalho.

Agradecer muito aos docentes que tem oferecido ajuda académica durante a formação e conclusão do curso.

Minha querida mamã. ♥

## Epígrafe

“Você nunca sabe que resultados virão da sua acção, mas se não fizer nada, não existirão resultados...!”

***Mahatma Gandhi***

## RESUMO

Tendo em vista que o desenvolvimento municipal está directamente relacionado às receitas geradas pelo município, com destaque para as actividades económicas realizadas nas cidades, especialmente no sector de transportes, torna-se essencial impulsionar o crescimento económico urbano, que tem aumentado devido à maior densidade populacional nas zonas urbanas. Nesse contexto, esta pesquisa aborda a **Proposta de Integração de Sensores de Presença no Sistema m-Estacionamento do Município da Cidade de Maputo**, com o objectivo de **propor a integração de sensores de presença no sistema m-Estacionamento**, visando melhorar o controlo e a arrecadação municipal. Para alcançar esse objectivo, foi necessário **descrever a situação actual da gestão dos espaços de estacionamento, analisar as tecnologias aplicadas ao monitoramento dos estacionamentos de viaturas e desenvolver um protótipo para demonstrar a integração e funcionamento dos sensores de presença no sistema de monitoramento**. A metodologia adoptada compreendeu **pesquisa bibliográfica e documental** para caracterizar o cenário actual da gestão de estacionamentos, seguida de uma **pesquisa bibliográfica e comparativa** para identificar a melhor solução tecnológica para o problema enfrentado e, por fim, desenvolveu-se um **modelo funcional** para a demonstração do desempenho e viabilidade da solução proposta. Os resultados obtidos evidenciaram que a **falta de um sistema de controlo em tempo real** tem sido um dos factores que contribuem para a **fraca arrecadação municipal**, impactando negativamente na contribuição dos munícipes no uso dos estacionamentos de estacionamento. Além disso, constatou-se que a **segurança dos veículos estacionados** é uma preocupação recorrente, reforçando a necessidade de um monitoramento mais eficiente. Diante disso, verificou-se que a **integração de sensores de presença para monitoramento em tempo real mostrou-se uma solução eficaz**, permitindo um **controlo mais preciso das ocupações**, facilitando a fiscalização e contribuindo para o aumento da arrecadação. Além disso, a solução possibilita a implementação de **mecanismos de segurança**, como

**notificações de saída** do veículo do estacionamento e de tempo esgotado, garantindo maior comodidade e confiabilidade para os usuários.

**Palavras-chave:** Gestão, Estacionamento, Município, Internet das Coisas, Sensores.

## ABSTRACT

Considering that municipal development is directly related to the revenue generated by the municipality, with emphasis on economic activities carried out in cities, especially in the transport sector, it becomes essential to boost urban growth, which has been increasing due to the higher population density in urban areas. In this context, this research addresses the **Proposal for the Integration of Presence Sensors in the m-Parking System of the Municipality of Maputo**, with the **objective of proposing the integration of presence sensors into the m-Parking system**, aiming to improve control and municipal revenue collection. To achieve this objective, it was necessary to **describe the current state of parking space management, analyze the technologies applied to vehicle parking monitoring, and develop a prototype to demonstrate the integration and functionality of presence sensors in the monitoring system**. The adopted methodology included **bibliographic and documentary research** to characterize the current scenario of parking management, followed by **bibliographic and comparative research** to identify the best technological solution for the problem encountered. Finally, a **functional model** was developed to demonstrate the performance and feasibility of the proposed solution. The results obtained showed that the **lack of a real-time control system** has been one of the factors contributing to the **low municipal revenue collection**, negatively impacting citizens' adherence to the use of public parking spaces. Additionally, it was found that **vehicle security in parking spaces is a recurring concern**, reinforcing the need for more efficient monitoring. In light of this, the **integration of presence sensors for real-time monitoring proved to be an effective solution**, enabling **more precise control of parking space occupancy**, facilitating enforcement, and contributing to increased revenue collection. Furthermore, the solution allows for the implementation of **security mechanisms**, such as **vehicle exit notifications**, ensuring greater convenience and reliability for users.

**Keywords:** Management, Parking, Municipality, Internet of Things, Sensors.

## Índice

1	Capítulo I – Introdução.....	1
1.1	Contextualização.....	2
1.1.1	Motivação.....	3
1.1.2	Definição do problema.....	4
1.2	Pergunta de pesquisa.....	5
1.3	Objectivos.....	5
1.3.1	Geral.....	5
1.3.2	Específicos.....	5
1.4	Metodologia.....	6
1.4.1	Abordagem da pesquisa.....	6
1.4.2	Etapas da pesquisa.....	6
i.	Primeira etapa.....	6
ii.	Segunda etapa.....	7
iii.	Terceira etapa.....	8
iv.	Quarta etapa.....	8
1.5	Organização do Trabalho.....	9
2	Capítulo II – Revisão de Literatura.....	10
2.1	Gestão de estacionamento e aumento da população nas zonas urbanas.....	11
2.2	Organização municipal e sua importância no desenvolvimento territorial.....	13
2.2.1	Município.....	13
2.2.2	Organização administrativa dos municípios.....	13
2.3	Gestão de espaços de estacionamento na cidade de Maputo.....	14

2.4	A tecnologia no monitoramento de espaços de estacionamento .....	14
2.4.1	Sistema de estacionamento mecânico .....	15
2.4.2	Sistemas electrónicos de pagamento .....	15
2.4.3	Sistemas de gestão de estacionamento na era actual.....	16
2.4.4	Soluções aplicadas na gestão de estacionamentos .....	16
2.5	Internet das Coisas no auxílio à gestão de espaços de estacionamento .....	18
2.5.1	Arquitectura da Internet das coisas.....	18
2.5.2	Aplicações da Internet das Coisas (IoT) .....	20
2.6	Tecnologia de sensores e plataformas de implementação de IoT .....	21
2.6.1	Sensores.....	22
2.6.2	Tecnologia para transmissão de sinal num sistema de sensores .....	22
2.6.3	Plataformas de integração de sensores de Internet das coisas (IoT) .....	24
2.7	Integração de sensores à tecnologia de informação .....	27
2.7.1	Protocolos de comunicação aplicados em redes de sensores .....	28
2.7.2	Sistemas de Gerenciamento de Bases de dados (SGBD).....	29
2.7.3	Computação em nuvem e Internet das coisas .....	29
2.8	Análise dos resultados da revisão de literatura .....	30
3	Capítulo III – Caso de Estudo.....	31
3.1	Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento da Cidade de Maputo .....	32
3.1.1	Serviços fornecidos.....	32
3.2	Descrição da situação actual da gestão de espaços de estacionamentos.....	32
3.2.1	Gestão de espaços de estacionamento na cidade de Maputo .....	33
3.2.2	Sistema de gestão de estacionamento (m-Estacionamento).....	33
3.2.3	Dificuldades enfrentadas na gestão de espaços.....	34

3.2.4	Perspectivas futuras na gestão dos espaços de estacionamento.....	34
4	Capítulo IV – Proposta de solução.....	35
4.1	Proposta de solução.....	36
4.1.1	Evolução do sistema de fiscalização de estacionamento .....	36
4.1.2	Arquitectura do sistema proposto .....	37
4.1.3	Descrição da solução proposta.....	38
4.1.4	Comparação dos diferentes tipos de sensores de presença .....	38
4.1.5	Comparação dos diferentes tipos de <i>gateways</i> disponíveis .....	43
4.2	Camadas do sistema proposto.....	47
4.2.1	Camada de sensores.....	47
4.2.2	Camada de rede sem fio de área metropolitana - LoRaWAN.....	47
4.2.3	Camada de <i>gateway</i> .....	48
4.2.4	Camada de aplicação .....	49
4.3	Descrição dos módulos do sistema central de gestão.....	49
4.3.1	Grupos de interessados.....	50
4.3.2	Requisitos do sistema.....	50
4.4	Desenvolvimento do protótipo do sistema.....	54
4.4.1	<i>Gateway</i> de comunicação.....	54
4.4.2	Sensores de teste .....	55
4.4.3	Sistema central de gestão .....	56
4.5	Custo de implantação.....	57
4.5.1	Distribuição dos dispositivos <i>gateway</i> da área total.....	58
4.5.2	Desafios técnicos na implementação do projecto.....	59
5	Capítulo V – Discussão dos resultados.....	60

5.1	Discussão dos resultados de pesquisa .....	61
5.1.1	Resultados das entrevistas aos funcionários da empresa .....	61
5.1.2	Análise dos resultados das entrevistas .....	62
5.1.3	Resultados de inquéritos dirigidos aos utentes .....	63
5.1.4	Análise da colecta de dados .....	64
5.1.5	Conclusões constatadas .....	65
6	Capítulo VI – Considerações Finais .....	66
6.1	Conclusões .....	67
6.2	Limitações enfrentadas durante a pesquisa .....	68
6.3	Recomendações .....	69
6.3.1	Cronograma de actividades .....	69
7	Referências bibliográficas .....	71
8	Anexos .....	77

## Lista de figuras

Figura 1 – Crescimento urbano mundial. Fonte: (Machado & Abreu, 2020).....	11
Figura 2 – Crescimento populacional (Moçambique). Fonte: (Francisco, 2007).....	12
Figura 3 – Arquitectura IoT. Fonte: (Carissimi, 2016).....	19
Figura 4 – Aplicações da Internet das Coisas. Fonte: (Mancini, 2017).....	21
Figura 5 – Módulo sem fio LoRa. Fonte: ( <i>LoRa Modules with antena</i> , 2024).....	24
Figura 6 – Raspberry Pi 4. Fonte: (“Raspberry Pi,” 2024).....	25
Figura 7 – Plataforma Arduino. Fonte: (“Arduino,” 2024).....	26
Figura 8 – Placa NodeMCU modelo ESP8266. Fonte: (“ESP8266,” 2022).....	27
Figura 9 – Funionamento do protocolo MQTT. Fonte: (Nemlaha et al., 2023).....	29
Figura 10 - Diagrama ilustrativo do estado actual de gestão e o estado desejado.....	36
Figura 11 – Arquitectura externa do sistema. ....	38
Figura 12 – Diagrama de casos de uso do sistema.....	53
Figura 13 – Diagrama de circuitos para simulação.....	55
Figura 14 – Mapa da cidade de Maputo, Avenida 24 de Julho.....	58

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Padrões Bluetooth e suas taxas de transferência. Fonte: (“Bluetooth,” 2024).....	24
Tabela 3 – Tabela comparativa de sensores.....	41
Tabela 4 – Tabela comparativa dos diferentes tipos de <i>gateways</i> . ....	44
Tabela 5 – Orçamento do projecto .....	57
Tabela 6 – Resumo de perguntas feitas aos funcionários entrevistados.....	62
Tabela 7 – Resumo de perguntas dirigidas aos utentes.....	63
Tabela 8 – Cronograma de actividades .....	70

## **Lista de abreviaturas e acrónimos**

<b>CPU</b>	Central Processing Unity
<b>EMME</b>	Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento
<b>IBM</b>	International Business Machines
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineering
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network
<b>MySQL</b>	My Structured Query Language
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>OSI</b>	Open System Interconnection
<b>PCA</b>	Presidente do Conselho de Administração
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>SQL</b>	Structured Query Language
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>WAN</b>	Wide Area Network
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity

# 1 Capítulo I – Introdução

### 1.1 Contextualização

Esta pesquisa tem como propósito fundamental realizar um estudo visando propor a integração de sensores de presença no sistema de estacionamento rotativo do município, para proporcionar um controlo eficiente de forma automática e rápida sobre eventos que ocorrem nos estacionamentos sem a necessidade de intervenção directa da equipa de fiscalização. Esta medida visa garantir o controlo de irregularidades, especialmente a evasão.

As cidades oferecem inúmeras oportunidades, como emprego, comércio, turismo, entre outras. Estas oportunidades atraem um número considerável de pessoas, aumentando consideravelmente a densidade populacional. Tais oportunidades melhoram significativamente o nível de vida dos cidadãos, permitindo-lhes adquirir bens, principalmente veículos, que facilitam a sua circulação e execução de actividades diárias.

Com a revolução industrial impulsionada pelas máquinas a combustível, a indústria automobilística tem registado grandes avanços, tornando a aquisição de veículos acessível para praticamente qualquer cidadão. O aumento da densidade populacional e, conseqüentemente, de veículos, causa certos problemas como a demanda por locais de estacionamento e a poluição do ambiente por emissão de gases de combustão.

Desde o início do século passado, problemas referentes à falta de espaços de estacionamento rotativo eram já observados, levando à implementação de várias soluções para garantir um estacionamento adequado dos veículos (*Evolução dos medidor de estacionamento*, 2024). Com o avanço das TICs, tais soluções foram melhoradas ao longo do tempo, evoluindo de parquímetros mecânicos para sistemas que incorporam algoritmos de aprendizagem de máquina que ajudam na localização de espaços disponíveis para estacionar e melhorar a experiência do utilizador.

Moçambique, como um país em desenvolvimento, ainda não explora de forma adequada a tecnologia da informação e comunicação. Em muitas instituições, principalmente públicas, os processos ainda são executados de forma manual, apesar das potencialidades das TICs. Em muitos casos, grandes quantias de dinheiro são perdidas para resolver

problemas causados por falhas humanas, falhas estas que poderiam ser evitadas com a aplicação adequada da tecnologia.

No município da cidade de Maputo, foi implementado um sistema de estacionamento rotativo na via pública, gerido pela Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento. O estacionamento rotativo visa disponibilizar espaços ao público mediante o pagamento de uma taxa em um período de tempo (diária, semanal, mensal ou anual). A empresa possui equipas que fiscalizam as vias para verificar irregularidades, especialmente o uso de espaços sem o devido pagamento, aplicando multas correspondentes em caso de irregularidades.

### 1.1.1 Motivação

A aplicação da tecnologia na automação de tarefas tem vindo a aumentar consideravelmente a cada ano. Assim, o uso da tecnologia de informação e comunicação mostra-se como uma necessidade premente para o acompanhamento da evolução tecnológica e para tirar o seu máximo proveito.

A aplicação da tecnologia no controlo de espaços de estacionamento não só seria de importante para a empresa, ao permitir o controlo em tempo real das ocupações e a detecção de irregularidades, mas também aumentaria consideravelmente a receita. Além disso, as multas seriam geradas na central de controlo, impossibilitando qualquer intervenção indesejada das equipas de fiscalização (subornos). Os utilizadores também teriam uma base sólida sobre os eventos ocorridos no estacionamento, até a ocorrência de multas e o devido tempo excedido no estacionamento, o que reduziria conflitos entre os utentes e as equipas de fiscalização, como acontece em certos casos (Evidências, 2023).

A detecção de estacionamento sem pagamento depende da equipa de fiscalização. Os utentes podem ocupar os espaços sem efectuar o devido pagamento, esperando abandonar o estacionamento sem serem descobertos pela fiscalização, prejudicando desta forma a receita esperada.

Com a introdução dos sensores de presença, a ocupação será estabelecida logo que o utente estacionar, consciencializando-o de que a sua ocupação já foi detectada, caso não pague dentro do tempo, uma multa será anexada e a equipa de fiscalização será autorizada a efectuar o bloqueio do veículo.

### 1.1.2 Definição do problema

O estacionamento rotativo destina-se ao público e às empresas, garantindo um espaço previamente preparado na via pública mediante o pagamento de uma determinada taxa. No entanto, devido à falta de um sistema automático de detecção da presença de veículos no estacionamento, muitos utentes abandonam o espaço sem o devido pagamento.

A aplicação de multas pelo uso indevido dos espaços depende da equipa de fiscalização, que circula pelas vias para verificar irregularidades nos estacionamentos. Frequentemente verificam-se saídas nos estacionamentos sem o devido pagamento, como afirma o PCA da empresa e ainda evidenciado pela receita que não atinge as expectativas, apesar da utilização dos espaços.

O incumprimento das medidas estabelecidas pelo município, no que diz respeito ao pagamento do estacionamento rotativo, compromete a execução de actividades fundamentais para o desenvolvimento da cidade, como a reabilitação das estradas, uma vez que as contribuições dos munícipes, como o pagamento pelo uso do espaço, são essenciais para a melhoria das infra-estruturas públicas urbanas. Assim, torna-se difícil superar problemas, como estradas esburacadas — por exemplo, na Avenida ONU —, que em grande parte dependem das receitas geradas pelo estacionamento rotativo pago (*Município de Maputo falha encaixe de receitas, 2022*).

Outro problema é a necessidade de muita mão-de-obra para suprir as necessidades de fiscalização dos estacionamentos, o que eleva os custos a serem despendidos pelo município. Além disso, há uma maior probabilidade de utentes saírem dos estacionamentos sem o devido pagamento, em comparação com a utilização de tecnologia para o monitoramento.

Neste contexto, o problema identificado no município é a dificuldade no monitoramento dos veículos estacionados na via pública, visando garantir o controlo das ocupações em tempo real e reduzir o número de saídas sem o devido pagamento, uma vez que o controlo actualmente é realizado pela equipa de fiscalização de forma manual.

### 1.2 Pergunta de pesquisa

Efectuar um controlo rigoroso sobre ocupações dos espaços é uma necessidade para o desenvolvimento do município. Segundo João Ruas, PCA da Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento, a reabilitação das estradas no distrito municipal depende em grande parte das contribuições dos utentes em uso dos espaços. Assim a grande necessidade de redobrar esforços no controlo de ocupações e pagamentos para os cofres municipais (*Estacionamento rotativo*, 2024).

Diante da necessidade de controlar a evasão nos espaços de estacionamento, surge a pergunta: **De que forma a aplicação de sensores e tecnologias de comunicação pode reduzir a evasão de pagamentos em estacionamentos rotativos da Cidade de Maputo?**

### 1.3 Objectivos

#### 1.3.1 Geral

- ✓ Propor a integração de sensores de presença no sistema m-Estacionamento para o Município da Cidade de Maputo.

#### 1.3.2 Específicos

- Descrever a situação actual de estado de gestão de espaços de estacionamento;
- Analisar as tecnologias aplicadas para o monitoramento de espaços de estacionamento de viaturas;
- Desenvolver um protótipo de integração de sensores de presença no sistema de monitoramento, para a demonstração da integração e funcionamento.

### 1.4 Metodologia

A pesquisa é a base para a busca de novos conhecimentos, descobertas ou melhoramento de processos existentes. Conforme destacado por Minayo & Sanches (1993), a pesquisa é definida como uma actividade fundamental para a busca de novos saberes ou aperfeiçoamento de processos já existentes. Desta forma, a metodologia orienta no alcance dos objectivos de maneira sistemática, estrutural e concisa, por meio de procedimentos formais estabelecidos.

#### 1.4.1 Abordagem da pesquisa

A escolha da abordagem qualitativa justifica-se pela necessidade de procurar compreender o funcionamento da gestão de espaços na Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento. Conforme estabelecido por Gil (2010), essa abordagem preocupa-se em perceber o ponto de vista dos intervenientes no estudo aplicado.

#### 1.4.2 Etapas da pesquisa

A metodologia está dividida em quatro etapas, que, no conjunto, atendem aos objectivos de pesquisa descritos na secção 1.3. A separação em etapas garante o sequenciamento de actividades.

##### i. Primeira etapa

Na primeira etapa, será realizado um estudo para a familiarização com organizações municipais, incluindo formas de gestão, hierarquias, responsabilidades e comparações com outras organizações municipais do país e além-fronteiras. Gil (2010) define pesquisa bibliográfica como uma busca por informações em documentos já existentes, como livros, artigos e revistas científicas. Assim, uma pesquisa bibliográfica será conduzida para a recolha de documentos na Internet. A pesquisa documental também será aplicada, com o objectivo de explorar documentos disponibilizados pelo próprio município para extrair informações necessárias sobre a instituição.

### a. Técnicas de colecta e análise de dados

A pesquisa exploratória, por meio de entrevistas e questionários, será utilizada para obter uma compreensão aprofundada do problema e explorar informações sobre a gestão dos espaços de estacionamento (Gil, 2010). A colecta de dados será realizada com técnicas de entrevista e aplicação de questionários, que será aplicada aos funcionários e distribuídos aos usuários dos serviços para preenchimento com informações relevantes.

- **Entrevista**

As entrevistas, por sua vez, serão direccionadas a funcionários que tenham familiaridade com o sistema actualmente em uso, bem como àqueles envolvidos directamente na administração das áreas de estacionamento.

- **Questionário**

Os questionários serão direccionados ao público usuário do estacionamento rotativo remunerado. Os fóruns serão publicados pela Internet para o público-alvo.

As perguntas do questionário serão fechadas de escolha simples ou múltipla e, em certos casos perguntas abertas para algum detalhamento opcional, para facilitar a recolha de informação de satisfação dos usuários sobre o uso do estacionamento rotativo.

O propósito das entrevistas e questionários é entender o sistema em uso na gestão dos estacionamentos, investigando sua aplicação prática e a percepção dos usuários em relação aos serviços oferecidos pela empresa.

Para melhor visualização e análise dos dados colectados, serão usadas tabelas que irão sintetizar as respostas dos intervenientes no processo de pesquisa, seja das entrevistas ou questionários.

### ii. Segunda etapa

Na segunda etapa, após a colecta suficiente de dados sobre o funcionamento da empresa na gestão de estacionamento e a compreensão da situação actual, será realizada uma nova pesquisa bibliográfica, com o objectivo de estudar diferentes sistemas de monitoramento de espaços, comparando tecnologias aplicáveis, conforme sugerido por

Michel (2005). Diversos sistemas serão analisados, permitindo identificar as soluções mais relevantes para o município, com base na comparação de características e desempenho.

Com base nos sistemas estudados, será feita uma selecção de sensores e *gateways*, permitindo uma análise comparativa que possibilite a escolha da melhor tecnologia disponível, levando em consideração a necessidade da empresa e os recursos disponíveis.

### **iii. Terceira etapa**

Na terceira etapa, será apresentada a proposta de solução, baseada na avaliação comparativa das tecnologias disponíveis. Por fim, a abordagem descritiva será aplicada para detalhar a solução proposta (Da Silva & Menezes, 2005).

### **iv. Quarta etapa**

Na quarta etapa, será desenvolvido um modelo que demonstrará o funcionamento da solução proposta. Para tal, serão utilizados sensores e um microcontrolador Arduino UNO R3, que actuará como *gateway* para o sinal gerado pelos sensores. Além disso, será desenvolvida uma aplicação que irá simular o processamento de dados enviados pelo microcontrolador.

Para o teste do desempenho do protótipo, o microcontrolador será conectado via cabo USB através do qual os dados colectados serão enviados à aplicação correndo no servidor de aplicação (no computador pessoal).

### 1.5 Organização do Trabalho

O trabalho está dividido em capítulos conforme descrito a seguir:

✓ **Capítulo I – Introdução**

Apresenta uma breve contextualização do tema de pesquisa, juntamente com os objectivos e a metodologia orientadora para a execução do estudo.

✓ **Capítulo II – Revisão de Literatura**

Explora o estado da arte relacionado à gestão e controlo de espaços com o uso da tecnologia, com foco nas pesquisas e avanços na área.

✓ **Capítulo III – Caso de Estudo**

Detalha a situação actual da gestão dos espaços de estacionamento no município da cidade de Maputo, além de incluir os resultados da pesquisa de campo.

✓ **Capítulo IV – Proposta de Solução**

Apresenta a solução proposta para o problema enfrentado pela empresa, explicando os componentes essenciais para a implementação e o desenvolvimento do protótipo.

✓ **Capítulo V – Discussão de Resultados**

Analisa os resultados obtidos tanto nas pesquisas de campo (entrevistas e questionários) quanto nas revisões bibliográficas.

✓ **Capítulo VI – Conclusões e Recomendações**

Oferece as conclusões da pesquisa, respondendo à questão principal do estudo, além de propor recomendações finais.

✓ **Capítulo VII – Referências Bibliográficas**

Lista de todas fontes bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

## 2 Capítulo II – Revisão de Literatura

### 2.1 Gestão de estacionamentos e aumento da população nas zonas urbanas

A gestão de espaços de estacionamento é um grande desafio para a criação de cidades organizadas, dinâmicas e sustentáveis. As zonas urbanas, que concentram diversas actividades económicas, atraem um fluxo significativo de pessoas, bens e veículos. Essas áreas, sob administração municipal, são essenciais para o desenvolvimento urbano e geram as maiores receitas para o estado, devido às grandes infra-estruturas.

Segundo a ONU (*ONU-Habitat, 2022*), a população mundial deverá crescer em 2,2 bilhões de pessoas até 2050, e a concentração populacional nas zonas urbanas aumentará de 56,0% para 68,0%. Com essa taxa de crescimento, a densidade populacional nas cidades aumentará consideravelmente.

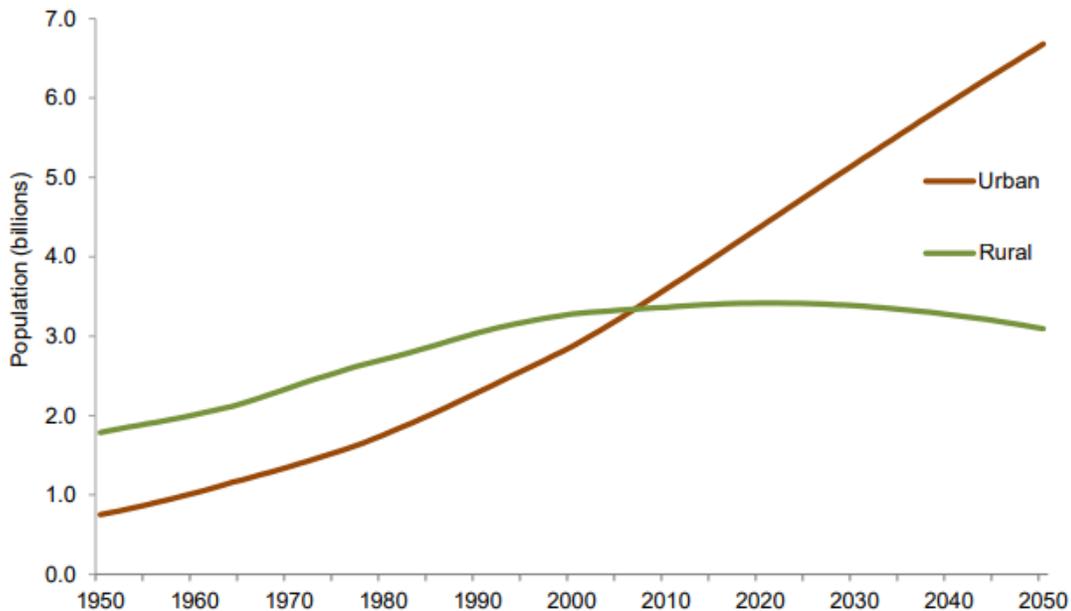


Figura 1 – Crescimento urbano mundial. Fonte: (Machado & Abreu, 2020).

O gráfico mostra a tendência crescente da urbanização. No ano de 1950, o número total de habitantes nas cidades era um pouco mais de quinhentos milhões contra quase dois bilhões nas zonas rurais e, no intervalo de 2005 e 2010 verificou-se um cruzamento entre o número de habitantes da zona rural e urbana. Daí, a taxa de crescimento nas zonas urbanas tende a aumentar linearmente. O aumento da densidade populacional nas zonas urbanas é justificado pela procura de melhores condições de vida.

## Capítulo II – Revisão de Literatura

Para o caso de Moçambique, de acordo com as Nações Unidas (*ONU-Habitat, 2022*) está previsto um crescimento de cerca de 4.3% anualmente desde 2008 para as zonas urbanas. Com a taxa sendo positiva, pode se concluir, do mesmo modo que a densidade populacional urbana tende a aumentar a cada ano.

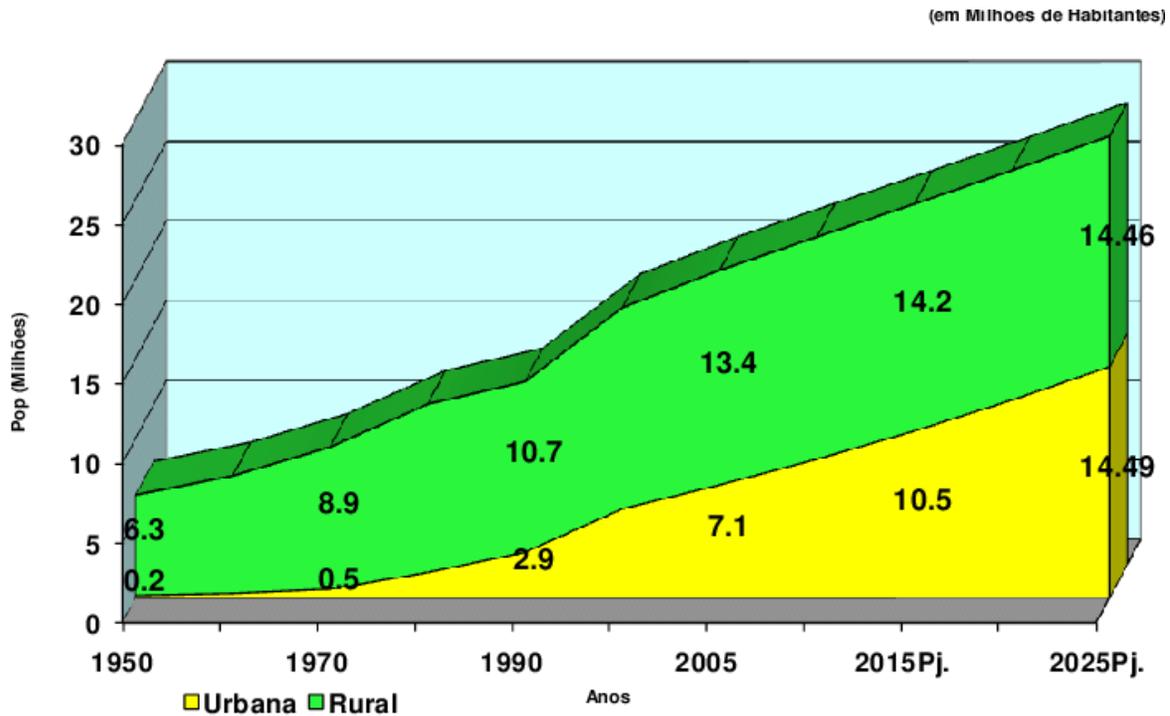


Figura 2 – Crescimento populacional (Moçambique). Fonte: (Francisco, 2007)

O aumento da densidade populacional causa problemas como congestionamentos e dificuldades no acesso a serviços básicos, desafios que afectam até mesmo grandes cidades ao redor do mundo. Para mitigar esses problemas, especialmente o aumento de veículos são empregues soluções tecnológicas, criando o conceito de cidades inteligentes.

Cidades inteligentes utilizam tecnologia para dinamizar a mobilidade urbana, facilitando o acesso a estacionamentos e aumentando a segurança com câmaras e sensores espalhados pelas vias, por meio da Internet das Coisas (IoT). Uma cidade inteligente é aquela que colecta e faz a gestão de dados de forma eficiente, oferecendo um ambiente confortável e seguro para seus cidadãos (“Cidade inteligente,” 2024).

### 2.2 Organização municipal e sua importância no desenvolvimento territorial

As organizações territoriais têm como objectivo fundamental proporcionar uma gestão aprimorada para os cidadãos da região e promover melhorias contínuas. Quanto mais pequenas e autónomas forem as repartições, mais fácil se torna sua administração. Um país pode ser segmentado de diversas formas, sendo a mais comum a divisão em províncias, que se subdividem em distritos, postos administrativos e localidades. As localidades, por sua vez, podem ser fragmentadas em bairros, quarteirões e outras divisões possíveis (“Divisão administrativa,” 2023).

Para um controlo e direcção mais eficaz dos esforços em um território, os distritos com potencial para desenvolvimento são transformados em municípios, garantindo uma gestão interna mais robusta e direccionada

#### 2.2.1 Município

Um município é uma divisão administrativa com estatuto corporativo e, geralmente, possui governo e jurisdição próprios (“Município,” 2024). De acordo com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal, é uma circunscrição onde cidadãos, ligados por relações de localidade, trabalho e tradições, vivem em uma organização autónoma que busca economia, administração e cultura (Pina et al., 2008). Geralmente, uma subdivisão municipal possui autonomia jurídica e atende às necessidades dos cidadãos em aspectos administrativos, económicos e culturais, respeitando a legislação nacional.

#### 2.2.2 Organização administrativa dos municípios

A estrutura organizacional de um município pode variar conforme o modelo adoptado. No Brasil, o prefeito é o líder máximo, seguido pelo vice-prefeito, e diversas secretarias cuidam da administração municipal (*Organograma – Prefeitura Municipal de Bom Jardim*, 2024). Em Portugal, o presidente do município é o representante principal do conselho, vinculado aos serviços que orientam a gestão, com vários departamentos para a administração de diferentes áreas (*Organograma - Município de Albufeira*, 2024). Em Moçambique, a organização é semelhante à de Portugal, com o presidente do município e

um secretariado abaixo dele. Os organogramas de municípios de países de língua portuguesa revelam que a estrutura inclui o chefe máximo e sectores fundamentais, como saúde, educação, transporte e finanças, essenciais para a vida dos cidadãos. Essa organização reflecte um forte foco no desenvolvimento territorial, gerando renda para o município e seus cidadãos, sendo frequentemente criados em áreas urbanas com potencial económico, como empresas, turismo e infra-estrutura costeira.

### **2.3 Gestão de espaços de estacionamento na cidade de Maputo**

Com o crescimento populacional, a densidade de veículos nas áreas urbanas também aumenta, tornando a gestão de estacionamentos um grande desafio para os municípios. Em Moçambique, essa gestão ainda é precária em comparação com outros países. Geralmente, os veículos são estacionados em espaços livres ao redor de mercados, lojas e instituições, com poucos parques de estacionamento próprios.

Os municípios, responsáveis pela mobilidade e estacionamento, aplicam sanções, como a imobilização de veículos, quando o estacionamento é inadequado. Os motoristas devem se comunicar com o município para pagamento de multas, incentivando uma maior atenção ao estacionar e ao controlo do tempo de permanência (*Estacionamento rotativo*, 2022). De modo geral, o monitoramento dos espaços é realizado manualmente.

### **2.4 A tecnologia no monitoramento de espaços de estacionamento**

As cidades são transformadas em decorrência de interações entre os homens e a natureza e essas interações causam diversas transformações, ocasionando em pesquisas recorrentes com vista a traçar novos modelos de organização, perceber novos hábitos, padrões, comportamentos e tendências da sociedade (Fernandes et al., 2020).

A aplicação da tecnologia é uma realidade no dia-a-dia. A tecnologia oferece um auxílio extremamente valioso quando a necessidade é a automação e flexibilidade de processos. Com o crescimento das zonas urbanas, o fluxo aumenta e a disponibilidade de espaços para estacionamento tornam-se escassos.

### 2.4.1 Sistema de estacionamento mecânico

A introdução dos sistemas de estacionamento remonta ao século XX, um período de grandes mudanças impulsionadas pela revolução industrial, que gerou a necessidade de regular o estacionamento de forma mais eficiente devido ao aumento do fluxo de veículos.

Em 1935, Carl C. Magee, da cidade de Oklahoma, projectou o primeiro medidor de estacionamento, como resposta à ineficiência da polícia, que monitorava o estacionamento manualmente. A primeira máquina foi instalada em 16 de Julho de 1935 e teve sucesso imediato. Os motoristas inseriam uma moeda para pagar, e um relógio mostrava o tempo restante de permanência do veículo (*Evolução dos medidor de estacionamento*, 2024).

Esse sistema melhorou a eficiência da gestão do estacionamento, regulando o uso do espaço público e promovendo maior rotatividade dos veículos nas áreas de alta demanda. A invenção de Magee iniciou uma era de soluções automatizadas para problemas urbanos, estabelecendo as bases para futuros avanços em sistemas de estacionamento (Melsen, 2013).

### 2.4.2 Sistemas electrónicos de pagamento

A evolução dos sistemas de estacionamento acompanhou os avanços tecnológicos, especialmente com o crescimento da computação. Em 1960, foi introduzido o pagamento electrónico, permitindo aos motoristas pagarem com cartões, resolvendo a inconveniência de precisar de moedas específicas para estacionar.

Nos anos 90, o desenvolvimento da tecnologia levou à incorporação de pequenos monitores e sensores digitais nos sistemas de estacionamento, melhorando a eficiência do pagamento e da gestão. Contudo, o uso do pagamento electrónico apresenta um problema: os bancos cobram taxas por transacções, e alguns motoristas vandalizavam os medidores para evitar o pagamento (*Evolução dos medidor de estacionamento*, 2024).

### 2.4.3 Sistemas de gestão de estacionamento na era actual

Com o avanço da tecnologia, os sistemas de estacionamento se tornaram mais sofisticados. Actualmente incluem aplicativos móveis que permitem aos motoristas pagarem e monitorarem o tempo restante directamente em seus celulares. Sistemas de estacionamento inteligente usam algoritmos de aprendizado de máquina para prever a disponibilidade de vagas e otimizar a gestão dos espaços.

Esses sistemas modernos também utilizam análise de dados para ajudar os motoristas a encontrar locais disponíveis próximos. Sensores avançados e câmaras fornecem informações em tempo real sobre a ocupação das vagas, enquanto plataformas de gerenciamento oferecem relatórios detalhados para melhorar a eficiência e a experiência do usuário. Com essas inovações, o processo de estacionar se tornou mais conveniente, eficiente e seguro para motoristas e operadores (*Evolução dos medidor de estacionamento, 2024*).

### 2.4.4 Soluções aplicadas na gestão de estacionamentos

Pesquisadores desenvolveram vários sistemas de monitoramento de estacionamento, tanto em vias públicas quanto em estacionamentos rotativos, com o objectivo de reduzir a demanda por vagas e, conseqüentemente, o congestionamento nas cidades. Yee & Rahayu (2014) propuseram um sistema com dois módulos: um módulo de monitoramento de vagas e um módulo mestre. O módulo de monitoramento é composto por um sensor infravermelho digital, um display LCD e um módulo ZigBee. O sensor detecta a presença do veículo, o LCD exhibe as vagas ocupadas e disponíveis, e o módulo ZigBee transmite os dados ao módulo mestre sem fio, que, por sua vez efectua a gestão do estacionamento e fornece relatórios sobre o fluxo de ocupação e o tempo de estadia dos veículos.

Essa solução é prática para estacionamentos de pequeno a médio porte, com capacidade para até 100 veículos. A tecnologia ZigBee facilita o controlo do sistema, eliminando a necessidade de cabeamento. No entanto, o sistema enfrenta limitações em relação ao número de veículos monitorados, devido à restrição no número de nodos (sensores) que podem ser utilizados. Além disso, não é prático para estacionamentos livres, pois os

módulos precisam estar a cerca de 50 metros de distância para garantir a comunicação, tornando-se mais adequado para parques de estacionamento.

Kianpisheh et al. (2012) propuseram uma arquitectura para um sistema de estacionamento inteligente que utiliza sensores ultra-sónicos. O sistema ajuda os motoristas a encontrar vagas facilmente e facilita o pagamento, além de exibir informações sobre vagas ocupadas, disponíveis, reservadas e especiais, controlando também o uso indevido dos espaços.

A tecnologia de transmissão sem fio (ZigBee) é utilizada para simplificar e controlar o sistema, eliminando a necessidade de cabeamento. A arquitectura é composta por sensores ultra-sónicos conectados a unidades de controlo da zona (ZCU), que, por sua vez, são geridas por uma unidade de controlo central (CCU). Um switch de rede conecta as ZCU à CCU, ao servidor de dados e a painéis de LED que mostram a disponibilidade de vagas. A conexão entre os sensores e a ZCU é feita via cabo telefónico, enquanto a ligação da ZCU à CCU é realizada por cabo Ethernet categoria 5.

Essa solução é ideal para grandes estabelecimentos que podem acomodar centenas de veículos, especialmente aqueles com estacionamento em níveis ou andares.

Castro et al. (2017) desenvolveram um sistema de gerenciamento de vagas que utiliza câmaras e sensores disponíveis na cidade. O sistema emprega sensores para detectar vagas e câmaras para registar as actividades. As imagens colectadas são enviadas para um servidor na nuvem, que processa e actualiza a disponibilidade das vagas, permitindo que os usuários consultem essa informação em seus dispositivos de qualquer lugar.

A principal vantagem desse sistema é a necessidade mínima de *hardware* dedicado, uma vez que o processamento de dados é realizado na nuvem. A comunicação com a nuvem via Internet é fundamental, e o servidor é configurado para armazenar e processar os dados das câmaras da cidade.

Entretanto, a implementação dessa solução no contexto moçambicano enfrenta desafios, pois exige a instalação de câmaras nas ruas e sua conexão à Internet, o que pode ser muito difícil para muitos países em desenvolvimento, incluindo Moçambique.

### 2.5 Internet das Coisas no auxílio à gestão de espaços de estacionamento

A transformação digital do mundo é observada na aplicação de dispositivos interconectados, via Internet, que colectam dados e oferecem informações úteis, conhecida como Internet das Coisas (IoT). Segundo Singer, citado por (Mancini, 2017), a IoT é uma rede de objectos interconectados que processam e transmitem dados automaticamente, com ou sem a intervenção humana. Assim, refere-se à interconexão de dispositivos do dia-a-dia à Internet, visando o compartilhamento de informações e a geração automática de sinais de controlo. A conexão à rede global permite o controlo remoto dos objectos, que também podem actuar como provedores de serviços (Carvalho et al., 2024).

Nos últimos anos, a IoT tem contribuído para a sociedade em diversas áreas, como cidades inteligentes, automação residencial, monitoramento ambiental, universidades, agricultura, construções inteligentes, transporte, operação e manutenção, logística, segurança e saúde (Fernandes et al., 2020).

#### 2.5.1 Arquitectura da Internet das coisas

A criação de sistemas na Internet das Coisas (IoT) segue uma abordagem metodológica para levantar requisitos e desenvolver módulos necessários para o funcionamento. A arquitectura da IoT utiliza um modelo em camadas, similar aos modelos OSI e TCP/IP, que separa as unidades de funcionamento de cada módulo. Essa arquitectura pode ser dividida em quatro camadas (Carissimi, 2016):

##### i. Camada 1 – Sensores/actuadores e rede

Essa camada inclui os sensores utilizados para colectar dados ou interagir com o ambiente, como termómetros, câmaras, sensores de presença e dispositivos embutidos em electrodomésticos. As redes locais para comunicação, como BAN (Body Area Network), PAN (Personal Area Network) e LAN (Local Area Network), podem ser cabeadas ou sem fio.

### ii. Camada 2 – Gateway e rede

Os dados colectados pelos sensores precisam ser processados ou transmitidos para sistemas em nuvem ou locais. A camada de *gateway* é responsável por processar, armazenar os dados e conectar os dispositivos da camada de sensores à Internet ou a sistemas locais. Utiliza-se dispositivos como microcontroladores e redes de médio a longo alcance, como MAN (Metropolitan Area Network) e WAN (Wide Area Network). Um gateway permite a comunicação entre diferentes redes, roteando pacotes e traduzindo protocolos para garantir compatibilidade entre tecnologias distintas.

### iii. Camada 3 – Plataformas IoT (*middleware*)

Nesta camada, encontram-se os serviços essenciais para gerenciar dispositivos IoT, colectar e armazenar dados, além de processar e analisar informações. A segurança da rede também é abordada, assegurando a confiabilidade dos serviços. O *middleware* é uma camada de *software* que possibilita a comunicação entre processos, aplicações, sistemas ou plataformas com diferentes arquitecturas.

### iv. Camada 4 – Aplicação

Esta é a camada final da arquitectura, responsável pela comunicação com o usuário. Ela oferece painéis de visualização das informações colectadas pelos dispositivos IoT, permitindo que os usuários interajam com o sistema por meio de aplicativos específicos.

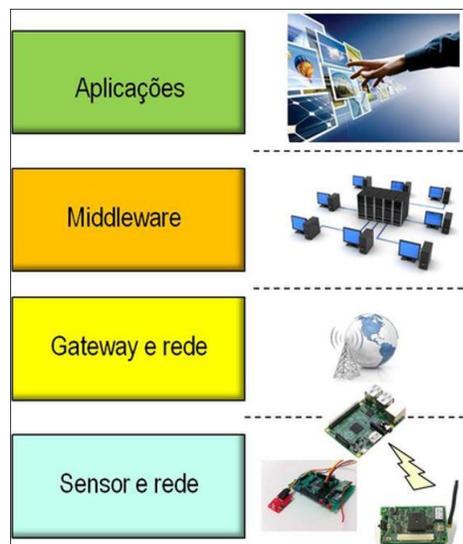


Figura 3 – Arquitectura IoT. Fonte: (Carissimi, 2016)

Na arquitetura IoT, a camada mais baixa consiste em sensores que coletam dados e estão interligados em rede. Esses dados são enviados para a camada seguinte por meio de dispositivos chamados *gateways*, que se comunicam com aplicações ou centrais de gestão, utilizando uma rede dedicada ou a Internet. Entre a camada de sensores e a camada de aplicação, há uma camada *middleware*, responsável por realizar a tradução de dados entre essas camadas.

As arquiteturas em camadas são eficazes para separar as tarefas, garantindo fácil integração e definições claras de responsabilidades para cada camada. Cada camada comunica-se apenas com as duas adjacentes, promovendo um fluxo de dados organizado e eficiente.

Arquiteturas em camadas são muito práticas para a separação de tarefas entre elas, garantindo fácil integração e responsabilidades para cada uma delas. Uma camada só se comunica com as duas adjacentes a ela.

### 2.5.2 Aplicações da Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) está amplamente presente no cotidiano, abrangendo diversas aplicações tecnológicas, desde casas inteligentes até o monitoramento rodoviário, incluindo semáforos e vagas de estacionamento. Nos últimos anos, a IoT tem sido especialmente utilizada na medicina para o monitoramento da saúde de pacientes.

A literatura revisada mostra uma variedade de aplicações para sensores em ambientes públicos e privados. Como visto acima, vários autores propõem aplicações da IoT para monitoramento de espaços de estacionamentos.

Na área da saúde, os relógios inteligentes são utilizados para monitorar parâmetros como temperatura corporal e frequência cardíaca. Esses dispositivos permitem que os dados coletados sejam compartilhados com familiares ou médicos, possibilitando a detecção precoce de problemas de saúde (*Saúde - Apple Watch, 2024*).

Além disso, na indústria alimentícia, sensores IoT são aplicados para monitorar a qualidade de alimentos processados. Um exemplo é o estudo de Comachio & Bortolotti,

(2020), que analisa o uso de microcontroladores para conectar e controlar sensores na produção de leite no Brasil.

A figura abaixo ilustra de forma geral as áreas de aplicações da Internet das coisas (IoT).

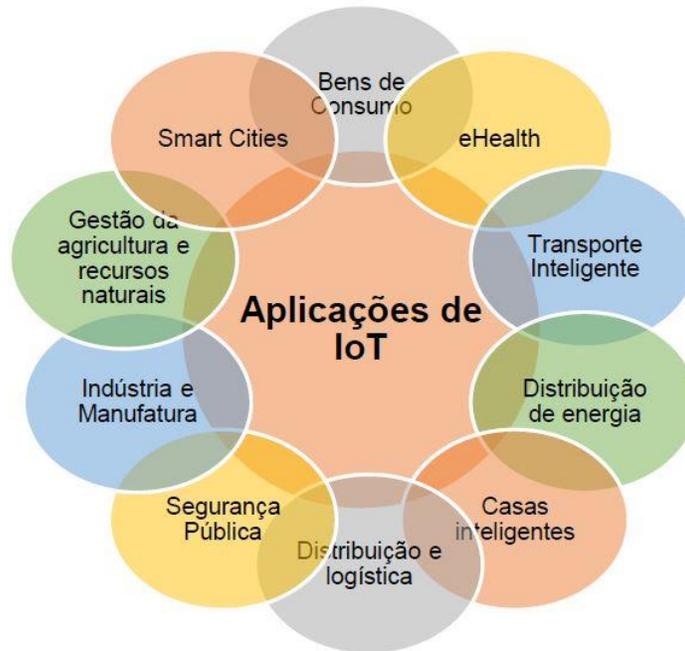


Figura 4 – Aplicações da Internet das Coisas. Fonte: (Mancini, 2017)

Pela observação da figura 4, a Internet das coisas (IoT) é vista em várias áreas da vida como saúde, indústria, segurança, não deixando de fora as cidades inteligentes. Os sensores de Internet das coisas têm aplicação em praticamente todas áreas da vida humana, tendo um aumento exponencial a cada ano em suas aplicações. É esperado um crescimento de 90% de dispositivos conectados a Internet de 2024 até 2028, o que impulsiona o ecossistema de dados na internet (Paiva, 2024).

### 2.6 Tecnologia de sensores e plataformas de implementação de IoT

Os sensores desempenham um papel crucial na colecta de informações e na facilitação de acções, respondendo a estímulos ou mudanças em seu ambiente. A tecnologia de sensores envolve o desenvolvimento e aplicação de dispositivos que detectam e reagem a alterações físicas, químicas, biológicas, entre outras. Esses dispositivos medem,

quantificam e transmitem dados colectados, que são utilizados para a tomada de decisões por outros dispositivos ou por seres humanos.

### 2.6.1 Sensores

Sensores são dispositivos que respondem a formas de energia, fornecendo informações sobre grandezas físicas a serem mensuradas, como temperatura, pressão e velocidade (Thomazini & Albuquerque, 2020). Eles mudam de estado ao ocorrer um evento específico, medindo variáveis físicas e convertendo-as em sinais eléctricos, que podem ser interpretados por sistemas controladores, como computadores.

Os sensores são projectados de várias maneiras, dependendo da função que desempenham, com diversas categorias disponíveis, segundo Amorim, (2010).

- **Sensores mecânicos** – são aplicados para detectar mudanças físicas como pressão, movimento, força entre outras grandezas.
- **Sensores fotoeléctricos** – sensíveis a variação da luz. Podem ser aplicados para detectar variação da luminosidade de um ambiente.
- **Sensores térmicos** – são aplicados para detectar variações de temperatura.
- **Sensores capacitivos** – detectam mudanças de campo eléctrico quando objectos electrizados se aproximam.
- **Sensores indutivos** – detectam elementos metálicos sem contacto com eles, apenas quando os objectos atravessam seu campo magnético.
- **Sensores ultra-sónicos** – são usados para detecção de objectos a uma certa distância através da emissão de som a baixa frequência.

### 2.6.2 Tecnologia para transmissão de sinal num sistema de sensores

A tecnologia de transmissão de sinal refere-se ao padrão utilizado para garantir a comunicação entre dispositivos na rede. Os dados podem ser transmitidos de duas formas: com fio, utilizando cabos, ou sem fio (wireless), usando ondas de rádio (“Comunicações sem fio,” 2022).

### i. Transmissão por cabos para sensores IoT

A transmissão por cabos de cobre conecta dispositivos, permitindo a circulação de fluxos eléctricos ao longo do cabo entre os diferentes dispositivos da rede. Diversos protocolos são utilizados para encapsular e desencapsular pacotes nesse tipo de transmissão.

Alguns protocolos comuns em redes de computadores e sensores IoT incluem:

- **Cabo ethernet** – Um cabo com 8 terminais, projectado para comunicação em redes de computadores de área local (LAN), utilizando o padrão IEEE 802.3. Os cabos de par trançado, que possuem pares de fios de cobre revestidos, são os mais comuns.
- **Cabo telefónico** – Utilizado para transmitir sinais de voz em linhas telefónicas, é comum em ambientes residenciais e comerciais e frequentemente aplicado em projectos IoT onde a transmissão por cabeamento é necessária, como aplicado no trabalho de Kianpisheh et al., (2012).
- **Cabo USB** – Um cabo serial usado para conectar dispositivos electrónicos a computadores, amplamente utilizado para conectar sensores IoT e microcontroladores em distâncias curtas.

A escolha do cabo depende muito da necessidade do sinal a transmitir. Em certos casos, quando apenas se pretendem obter dois estados (binário), um único cabo (com um terminal) é suficiente para transmissão do sinal.

### ii. Transmissão de sinal por rádio frequência em dispositivos IoT

- **Wi-Fi (Wireless Fidelity)** – Conjunto de padrões de comunicação sem fio baseado nas especificações do IEEE 802.11, especialmente para LAN, permitindo a conexão de dispositivos electrónicos a uma rede local sem fio, com alcance inferior a 100 metros nas faixas de 2.4 GHz e 5 GHz.
- **LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)** – Protocolo de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo de energia, usado em redes de IoT, permitindo comunicação em distâncias de vários quilómetros, com alcance de até 10 km em áreas rurais, utilizando faixas sem licença de 400 MHz a 1000 MHz..

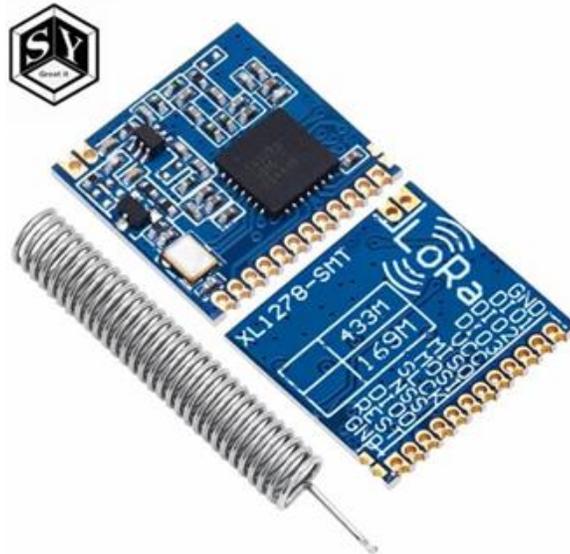


Figura 5 – Módulo sem fio LoRa. Fonte: (LoRa Modules with antena, 2024)

- **Bluetooth** – Padrão de comunicação de curto alcance projectado para conectar dispositivos dentro de um raio de 10 metros, operando na faixa de 2.4 GHz, com taxa de transmissão variando conforme o padrão utilizado

Tabela 1 – Padrões Bluetooth e suas taxas de transferência. Fote: (“Bluetooth,” 2024)

Padrão	Bluetooth 1.2	Bluetooth 2.0	Bluetooth 5.0
Taxa de transmissão	1 Mbps	3 Mbps	50 Mbps

- **ZigBee** – Protocolo de comunicação de alta eficiência energética para comunicações de curto alcance e baixo consumo, operando na faixa de 2,4 GHz, semelhante ao bluetooth (Chien Yee & Rahayu, 2014), com uma largura de banda de até 250 kbps, adequado para aplicações que não exigem maior largura de banda, como controlo de eletrodomésticos e sensores de presença.

### 2.6.3 Plataformas de integração de sensores de Internet das coisas (IoT)

Placas compostas por microcontroladores, periféricos e entradas e saídas de sinais possibilitam a conexão e operação de dispositivos IoT em uma rede. Esses componentes são essenciais para colectar dados dos sensores, processar informações e interagir com o

ambiente físico. Eles permitem medir aspectos físicos por meio de sensores e realizar ações através de actuadores ou comunicação com outros dispositivos.

Um microcontrolador é um pequeno computador em apenas um único circuito integrado, com CPU, memória RAM e periféricos de entrada e saída, programáveis (“Microcontrolador,” 2021). Esses microcontroladores são importantes na IoT, pois realizam leituras, tomam decisões e controlam actuadores. Existem várias placas ou plataformas disponíveis para a criação de projectos em Internet das Coisas.

- **Raspberry Pi**

Uma série de minicomputadores compactos, amplamente utilizados em aplicações IoT, desenvolvida pela Raspberry Pi Foundation. É um dos microcontroladores mais robustos, com várias interfaces de comunicação como USB, HDMI e ethernet. Seu pequeno tamanho a torna uma excelente plataforma para indústrias, casas inteligentes e Internet das Coisas. Actualmente existem dois modelos: A e B. O modelo B possui duas entradas USB e uma ethernet, enquanto o modelo A tem apenas uma entrada USB (“Raspberry Pi,” 2024).



Figura 6 – Raspberry Pi 4. Fonte: (“Raspberry Pi,” 2024)

- **Arduino**

Uma plataforma de prototipagem programável de *hardware* e *software* livres, que permite criar objectos electrónicos interactivos e independentes. Utiliza a linguagem padrão C/C++

(originada da linguagem *Wiring*<sup>1</sup>) para programação (“Arduino,” 2024). A plataforma foi criada para ser acessível e flexível, necessitando apenas de conhecimento básico para uso, ideal para aqueles que não têm acesso a microcontroladores mais robustos. Um Arduino é composto por um microcontrolador, pinos de entrada e saída (analógicos ou digitais), e uma interface serial (USB) para comunicação com um computador. Os dados são introduzidos ao microcontrolador através dos pinos de entrada, conectados a diversos sensores. A programação é realizada na linguagem Arduino, com um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) baseado em *Processing*<sup>2</sup>, sendo a plataforma mais utilizada em IoT (“Arduino,” 2024).



Figura 7 – Plataforma Arduino. Fonte: (“Arduino,” 2024).

- **NodeMCU**

Plataforma de Internet das Coisas de baixo custo e código aberto, com comunicação wireless (Wi-Fi) e processador a 80 MHz, podendo operar em frequências superiores. Usado como módulo Wi-Fi para microcontroladores, pode ter programação gravada com a IDE do Arduino ou sua linguagem nativa, LUA. As placas ESP8266 variam de 01 a 14,

---

<sup>1</sup> Uma plataforma de prototipagem electrónica com uma IDE e um microcontrolador em placa única.

<sup>2</sup> Linguagem de programação de código aberto

todas com o mesmo processador, diferindo em pinos de entrada/saída e memória RAM, permitindo integrar múltiplos sensores e dispositivos através de suas GPIO<sup>3</sup>.

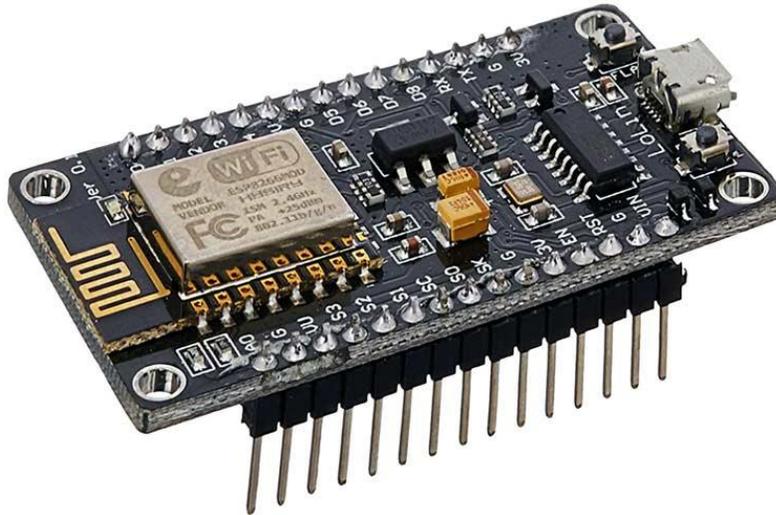


Figura 8 – Placa NodeMCU modelo ESP8266. Fonte: (“ESP8266,” 2022)

### 2.7 Integração de sensores à tecnologia de informação

Para maximizar o uso dos sensores, é crucial que o controle seja eficiente, acessível e intuitivo, facilitando a interação entre usuários e dispositivos. A Internet das Coisas (IoT) utiliza a infraestrutura da internet para gerenciar dispositivos remotos equipados com diversos sensores e/ou actuadores.

Os dispositivos e sensores na tecnologia IoT apresentam significativa heterogeneidade, tanto em suas arquiteturas de hardware quanto em software e protocolos de comunicação. Essa diversidade pode dificultar a integração e interconexão dos componentes.

Portanto, a integração dos sensores à tecnologia da informação exige abordagens cuidadosas e adaptativas, focadas na interoperabilidade e compatibilidade entre diferentes dispositivos e sistemas, garantindo uma integração eficaz.

---

<sup>3</sup> General Purpose Input/Output (Entradas e Saídas de Propósito Geral)

### 2.7.1 Protocolos de comunicação aplicados em redes de sensores

Um protocolo de comunicação é um conjunto de regras que nodos estabelecem para codificação e decodificação de informações trocadas na rede. Na computação, um protocolo é um padrão que controla a conexão, comunicação e transferência de dados entre sistemas operacionais, sendo responsável pela comunicação entre nodos em uma rede de computadores, independentemente da arquitectura e localizações (“Protocolo (ciência da computação),” 2023).

- **Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS)**

O protocolo HTTPS é projectado para manipulação segura de mensagens Web, podendo ser utilizado nas redes de comunicação de IoT (Balbinot, 2019).

Utiliza requisição e resposta, onde o cliente HTTPS faz uma chamada e recebe um arquivo de resposta indicando o estado da chamada e a resposta desejada em caso de sucesso.

- **Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)**

Desenvolvido pela IBM em 1999, o MQTT opera na camada de aplicação do modelo TCP/IP e baseia-se na comunicação publicação/requisição. A informação é intermediada por um *broker*<sup>4</sup>, onde dispositivos *publishers* enviam mensagens para o broker, e os subscribers se inscrevem para receber mensagens publicadas (Pereira, 2018). A plataforma *CloudMQTT* é utilizada para a troca de mensagens em projectos de IoT.

---

<sup>4</sup> É um intermediário entre os clientes da rede, responsável por receber requisições e entregar aos dispositivos clientes que requisitam.

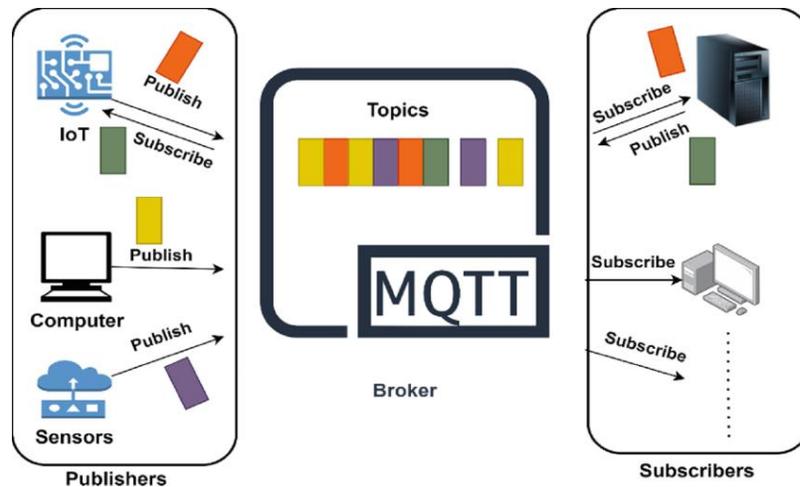


Figura 9 – Funionamento do protocolo MQTT. Fonte: (Nemlaha et al., 2023)

### 2.7.2 Sistemas de Gerenciamento de Bases de dados (SGBD)

As bases de dados consistem em um conjunto de dados relacionados, que podem ser alterados, apagados e consultados por meio de um sistema de gerenciamento de base de dados (SGBD). Esses sistemas são projectados para fornecer um ambiente adequado para manipulação flexível de dados de diferentes fontes. Existem vários SGBDs, como *Microsoft SQL Server*, *Oracle*, *IBM DB2*, *PostgreSQL* e *MySQL*.

Nos sistemas com sensores IoT, os dados colectados podem ser armazenados em ambientes locais ou na Nuvem (Cloud). As bases de dados ajudam as empresas a tomar decisões e projectar estratégias com base na análise dos dados recolhidos pelos dispositivos IoT.

### 2.7.3 Computação em nuvem e Internet das coisas

A computação em nuvem é um modelo que fornece acesso sob demanda a recursos computacionais, como armazenamento e servidores, pela internet (Freitas & Neto, 2023). Dispositivos IoT geralmente têm baixo desempenho em processamento e armazenamento, tornando a capacidade de processamento das plataformas de nuvem um recurso valioso (de Barros & Licciardi, 2022).

Soluções de computação em nuvem são vantajosas para obter alta capacidade de processamento e armazenamento a custos reduzidos, facilitando o acesso a serviços que beneficiam não apenas a Internet das Coisas, mas diversas aplicações empresariais.

### **2.8 Análise dos resultados da revisão de literatura**

A crescente urbanização nas cidades resulta em uma densidade populacional que leva à demanda por serviços básicos e soluções de engenharia. A evolução dos estacionamentos na via pública desde o início do século passado reflecte essa necessidade. O aumento do número de veículos nas cidades gera a necessidade de estratégias que atendam à demanda por estacionamento. Nesse contexto, as soluções de Internet das Coisas (IoT) têm-se destacado na gestão de espaços, conforme evidenciado no ponto 2.4.4, onde vários autores sugerem soluções para monitoramento de estacionamento e outras áreas cruciais para a sociedade.

Além disso, a evolução dos sistemas de estacionamento é evidente, passando de parquímetros mecânicos para sistemas inteligentes que auxiliam motoristas na localização de vagas disponíveis. A integração de dispositivos IoT na vida urbana se torna cada vez mais comum, não só no monitoramento de estacionamentos e segurança rodoviária, mas também em sectores essenciais como a medicina, onde relógios inteligentes têm contribuído significativamente para salvar vidas em diversos países. Essa tendência ressalta a importância de tecnologias inovadoras na melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas.

## 3 Capítulo III – Caso de Estudio

### 3.1 Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento da Cidade de Maputo

A Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento é uma entidade pública gerida pelo município, com personalidade jurídica e autoridade administrativa, financeira e patrimonial. Seu principal objectivo é assegurar actividades de interesse municipal, incluindo a gestão do sistema de apoio à mobilidade urbana, estacionamento e serviços correlatos. A empresa também se envolve em sistemas de mobilidade eléctrica e na promoção de produtos de mobilidade inovadores. Além disso, busca encontrar soluções inovadoras para integrar a mobilidade urbana de forma sustentável e eficiente (*Emme, 2024*).

#### 3.1.1 Serviços fornecidos

A Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento está em expansão, oferecendo serviços de mobilidade urbana no município de Maputo. Embora apenas um silo de estacionamento tenha sido concluído, a empresa planeia a construção de mais silos. Os sectores sob sua tutela incluem:

- i. **Estacionamento na via urbana:** controlo dos estacionamentos rotativos em Maputo.
- ii. **Gestão de terminais de autocarros:** supervisão dos terminais para transportes semicolectivos e colectivos.
- iii. **Mobilidade urbana:** serviço em fase de implementação para monitorar o fluxo rodoviário.
- iv. **Mobilidade marítima:** planeamento para gerenciar a mobilidade no sector marítimo.

### 3.2 Descrição da situação actual da gestão de espaços de estacionamentos

A gestão de espaços na cidade de Maputo, como visto acima, está a cargo da Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento, que possui um parques de estacionamento e espaços previamente preparados nas vias públicas destinadas ao estacionamento rotativo.

### 3.2.1 Gestão de espaços de estacionamento na cidade de Maputo

A cidade de Maputo enfrenta um grande desafio com cerca de vinte mil viaturas diárias, dificultando o estacionamento para os munícipes (*Município de Maputo introduz estacionamento rotativo electrónico, 2021*). Para resolver isso, a empresa disponibiliza espaços na via pública para estacionamento rotativo, onde os condutores podem pagar pelo tempo desejado. Um sistema foi criado para facilitar o acesso ao estacionamento e os pagamentos, permitindo que os condutores registrem a matrícula do veículo e o tempo de estacionamento desejado.

Antes desse sistema, a cobrança era feita por funcionários, resultando em controlo deficiente da receita. Agora, os pagamentos são feitos diretamente no sistema, permitindo um melhor controlo da arrecadação, conforme afirma João Ruas, PCA da empresa. O monitoramento de pagamentos é realizado por funcionários que circulam em viaturas, utilizando dispositivos para ler as matrículas e verificar a situação dos pagamentos.

A contagem de tempo de estacionamento é feita no sistema, logo que o utente efectua o pagamento. Os funcionários de fiscalização monitoram os espaços, recolhendo a matrícula do veículo e assim verificar o tempo restante de uso do espaço em caso de ter havido pagamento.

Com a implementação do estacionamento rotativo, o município busca reduzir a falta de espaços na baixa da cidade. O plano inclui a construção de parques de estacionamento e um silo-auto, que também abriga um mercado para vendedores informais, visando diminuir a densidade populacional nas ruas e facilitar a cobrança de taxas diárias. Essas ações fazem parte do Plano Quinquenal de Desenvolvimento Municipal (2019–2023), que inclui diversas infraestruturas essenciais (*Cidade de Maputo terá quatro silos-auto até ao fim de 2023, 2022*).

### 3.2.2 Sistema de gestão de estacionamento (m-Estacionamento)

Trata-se de um sistema moderno e inovador desenvolvido para facilitar o pagamento do estacionamento rotativo na cidade de Maputo. O sistema pode ser acedido através do

aplicativo móvel (m-Estacionamento), pelo código USSD (\* 210#) ou pela página Web oficial. Desenvolvido pela Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento, o sistema visa auxiliar na gestão e melhorar a mobilidade e o estacionamento na baixa da cidade de Maputo.

Com o auxílio do sistema de gestão de estacionamento, o usuário não apenas pode efectuar o pagamento por hora, mas também pode reservar a vaga por um período específico (diário, semanal, mensal ou anual), obtendo assim acesso garantido durante o tempo determinado após efectuar o pagamento correspondente.

### **3.2.3 Dificuldades enfrentadas na gestão de espaços**

Com a operação dos espaços de estacionamento na via pública e do silo, a importância desses locais se torna evidente, proporcionando mais opções para os motoristas na cidade. No entanto, a fiscalização de irregularidades depende de uma equipa que monitora os espaços, e o monitoramento manual torna o trabalho mais difícil, exigindo grande esforço dos funcionários. Outro problema é a evasão do estacionamento; caso a equipa de fiscalização não registre a matrícula do veículo, o condutor pode sair sem pagar, pois não há controlo preciso dos veículos estacionados.

### **3.2.4 Perspectivas futuras na gestão dos espaços de estacionamento**

Tornar a cidade mais habitável a cada dia, é o objectivo principal do município, bem como de qualquer nação que zela pelo bem-estar dos seus cidadãos. O plano do município, no que diz respeito à gestão de estacionamentos, inclui a construção de quatro silos de estacionamento. Até o momento, apenas um silo foi construído no mercado central da baixa da cidade de Maputo. No entanto, o plano de construção continua em andamento, e os outros parques serão construídos em breve, afirmou o gestor do estacionamento da baixa da cidade.

## 4 Capítulo IV – Proposta de solução

### 4.1 Proposta de solução

Para a efectivação do processo de controlo eficiente dos espaços de estacionamento, propõe-se a integração de sensores de presença ao sistema de gestão de estacionamentos em uso no município.

#### 4.1.1 Evolução do sistema de fiscalização de estacionamento

Como discutido na secção anterior, a fiscalização manual atribui à polícia a maior responsabilidade no controlo de irregularidades de pagamento. Esse modelo apresenta diversas limitações, como a ineficiência no controlo do tempo e a dependência da intervenção humana. O diagrama a seguir ilustra a situação actual do sistema de fiscalização e a transformação esperada com a implementação da solução proposta.

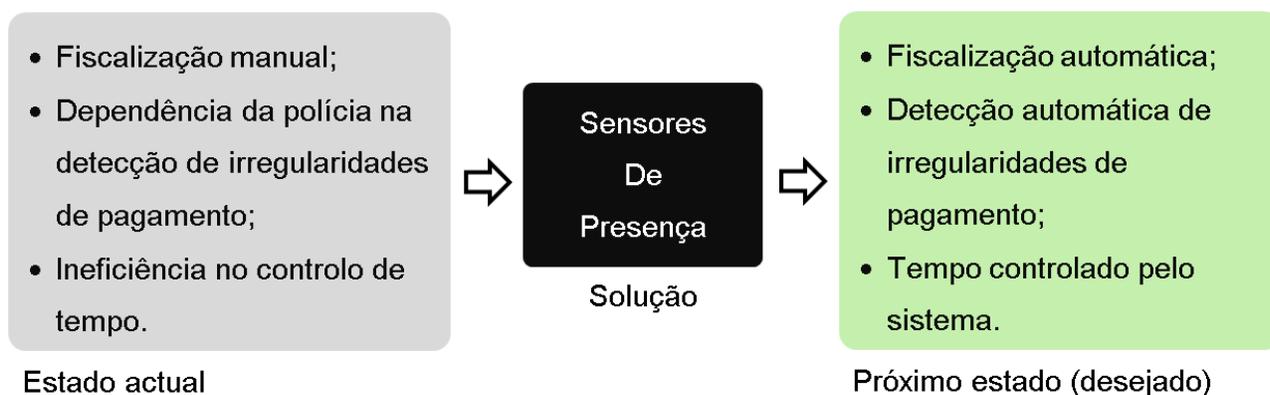


Figura 10 - Diagrama ilustrativo do estado actual de gestão e o estado desejado.

Observando a figura acima, a caixa preta representa a integração de sensores de presença, que monitoram em tempo real a ocupação das vagas. Essa solução permitirá um controle mais eficiente dos espaços, auxiliando a polícia na detecção imediata de ocupações não legalizadas e na fiscalização automática do estacionamento.

### 4.1.2 Arquitectura do sistema proposto

Cada espaço de estacionamento terá um sensor que detecta a presença ou ausência de veículos, conectado a um módulo de rede sem fio. Este módulo envia os dados para o *gateway*, que encaminha as informações para a central de controlo através da Internet ou rede dedicada, onde ocorrem decisões e o armazenamento de dados (vide figura 10).

O usuário terá um tempo máximo para realizar o pagamento após estacionar. Caso o pagamento não seja efetuado dentro desse tempo, o sistema sinaliza o estacionamento como não pago. Após o pagamento, o usuário verá na tela o horário de início e término da contagem regressiva, ajudando no controle do tempo, pois o sistema não possui notificações para tempo esgotado. Ao final do tempo, o usuário deverá sair ou renovar o pagamento para continuar estacionado legalmente.

Cada espaço terá um identificador único que o usuário deve inserir no sistema. A empresa terá um mapa detalhado dos sensores para rastrear estacionamentos sem o devido pagamento, bem como efectuar manutenção dos dispositivos.

#### **x Excepções no estacionamento**

Caso o usuário não efectue o pagamento do estacionamento dentro do tempo previsto, será aplicada uma multa, e a equipa de fiscalização receberá uma notificação de autorização de bloqueio com a localização exacta do local com irregularidades. Utilizando o mapa de sensores já existente, a equipa se dirigirá ao local pelo caminho mais curto e acessível possível para proceder com os trâmites legais no local.

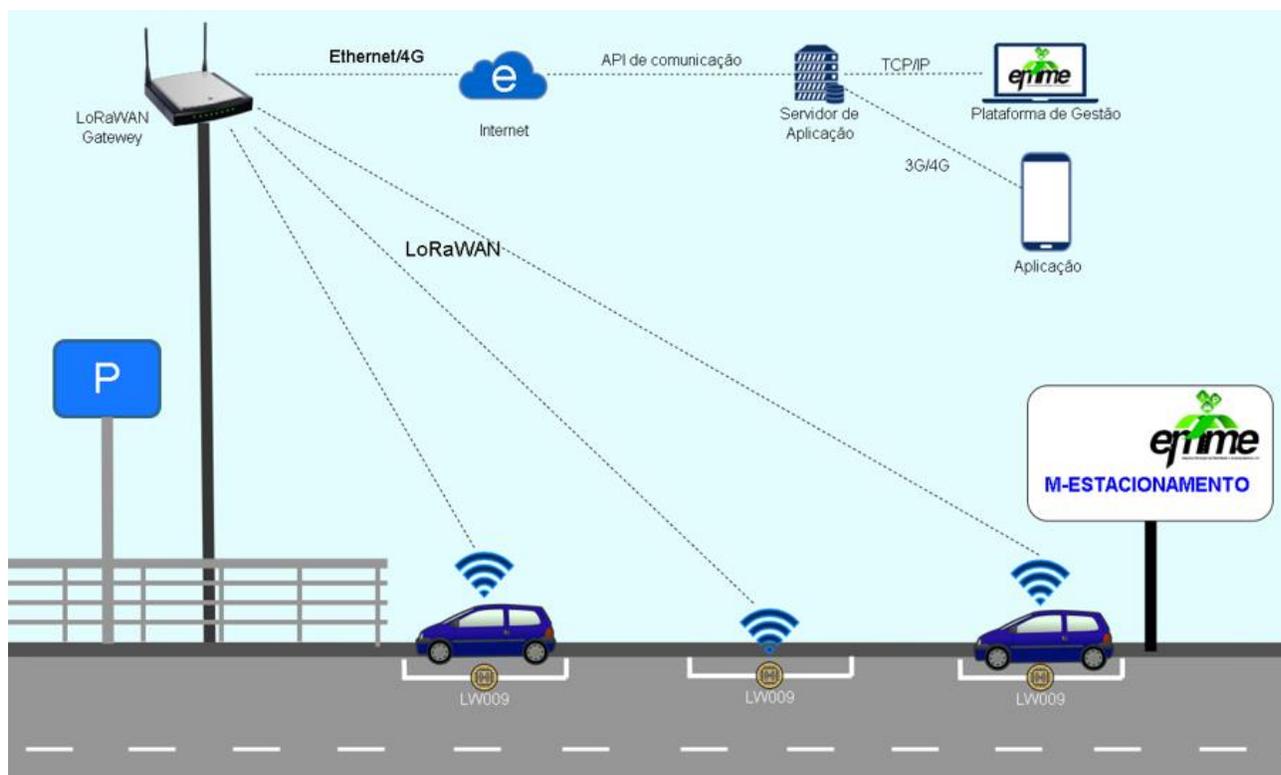


Figura 11 – Arquitectura externa do sistema.

Fonte: Autor

Observando a figura acima, os sensores instalados nas vagas de estacionamento detectam a presença de veículos e transmitem os dados via LoRaWAN para um *gateway*. Este, por sua vez, envia as informações para um servidor de aplicação através da Internet ou uma rede dedicada. A plataforma de gestão e a aplicação móvel recebem esses dados em tempo real, permitindo o monitoramento e controle eficiente da ocupação dos espaços de estacionamento.

### 4.1.3 Descrição da solução proposta

- ✓ Fluxo normal desejável

### 4.1.4 Comparação dos diferentes tipos de sensores de presença

Para seleccionar o tipo adequado de sensor, é essencial estabelecer critérios de comparação que considerem as necessidades e condições específicas do local de

## Capítulo IV – Proposta de Solução

---

aplicação. Como o objectivo da pesquisa é propor a integração de sensores no sistema de estacionamento do município, encontrar o ponto ideal para a aplicação é crucial, considerando o impacto financeiro para a empresa.

Os sensores serão instalados em vias públicas e, por isso, devem apresentar características específicas para garantir uma operação confiável e contínua, além da acessibilidade de aquisição.

Assim, os critérios e requisitos desejáveis para avaliação dos sensores a serem utilizados foram definidos com base em Bernas et al. (2018) e são descritos a seguir.

- ✓ **Preço:** a aquisição do material deve ser acessível. Será considerado o custo-benefício dos sensores disponíveis no mercado, priorizando a disponibilidade em fornecedores nacionais.
  
- ✓ **Facilidade de Instalação:** A instalação dos sensores deve exigir mínima intervenção técnica, permitindo que o processo seja rápido e eficiente. Os sensores precisam ser simples e práticos, sem comprometer a capacidade de executar as funções necessárias.
- ✓ **Manutenção Simplificada:** A facilidade de manutenção será um critério essencial. Serão priorizadas soluções que reduzam a necessidade de intervenções frequentes e complexas, assegurando a continuidade operacional do sistema de monitoramento.
- ✓ **Resistência às Condições Ambientais:** Como estarão expostos em áreas externas, os sensores devem ser protegidos contra factores como chuva, altas temperaturas e vandalismo. É necessário que a estrutura dos sensores seja robusta e fixada de maneira firme no asfalto, além de incluir protecção eficaz contra água e calor intenso, para resistir a eventos adversos e assegurar a longevidade do equipamento.
- ✓ **Alimentação dos dispositivos:** os sensores normalmente possuem componentes electrónicos que realizam algum processamento do sinal capturado antes de enviá-

lo. Além disso, o módulo LoRa também precisa de alimentação. Será preferível utilizar fontes de baixa tensão, como baterias ou painéis fotovoltaicos, visando reduzir custos operacionais e ambientais

- ✓ **Distância de captura de sinal e interferência:** como os sensores serão instalados na via pública, a distância de captura do sinal deve ser suficientemente curta para evitar interferências indesejadas ou a detecção de objectos fora do espaço de estacionamento, ou seja, o sensor deve ser capaz de detectar o veículo somente quando este estiver dentro do espaço delimitado para estacionamento.

## Capítulo IV – Proposta de Solução

Tabela 2 – Tabela comparativa de sensores.

Sensor	Descrição	Instalação	Manutenção	Distância máxima	Interferência	Fonte	Preço (MZN)
<b>Ultra-sónico</b>	Emissão e recepção de ondas sonoras	Simples	Muito fácil	2 m	Sujidade e condições climáticas extremas	5V	350.00
<b>Magnético de proximidade</b>	Detecta variações do campo magnético	Na superfície	Muito fácil	1 m	É menos preciso em comparação com o indutivo	5V	3229.88
<b>Indutivo</b>	Detecção por variação de campo electromagnético	Na superfície	Muito fácil	1 m	Campos eléctricos e magnéticos; Condições climáticas extremas	5V	383.39
<b>Radar</b>	Emissão e recepção de ondas de rádio.	Complexa	São caros e complexos de instalar	20 m	Condições climáticas e sujidade	5V	
<b>Infravermelho</b>	Calcula o tempo de propagação das ondas reflectidas	Um metro acima do solo	Fácil manutenção	5 m	Condições climáticas e sujidade	5V	250.00
<b>Pressão</b>	Detecta o peso de um corpo quando está sobre o sensor	Na via pública	Complexa	N/A	Praticamente sem interferência	5V	1730.55

A partir da análise dos dados da tabela acima, foram traçadas algumas considerações relativas à comparação dos sensores disponíveis e aplicáveis ao projecto. Pelo preço e disponibilidade, os sensores ultra-sónicos, magnéticos e indutivos são desejáveis. Contudo, algumas considerações precisam ser levadas em conta para a escolha ideal dos dispositivos desejados.

### i. Sensores ultra-sónicos

- **Vantagens:** São acessíveis em termos de custo e fáceis de instalar, sem a necessidade de abrir o asfalto.
- **Desvantagens:** Detectam qualquer objecto, tornando-os inadequados para vias públicas com circulação de pessoas e outros agentes. Seus componentes internos são vulneráveis à água, e a protecção frágil facilita acções de vandalização, além de danos acidentais.

### ii. Sensores magnéticos

Esses sensores precisam ser fixados na via pública de forma que o veículo estacione sobre eles, podendo exigir abertura do asfalto para instalação.

- **Vantagem:** Detectam apenas variações do campo magnético, evitando interferências de objectos não ferrosos, como pessoas. São resistentes a humidade, poeira, chuva (IP68<sup>5</sup>) e vandalismo, graças a uma cobertura rígida, ideal para as condições de Maputo.
- **Desvantagem:** O custo de aquisição é um pouco maior em comparação com sensores ultra-sónicos e infravermelhos.

### iii. Sensor infravermelho

- **Vantagens:** Simples e económico.
- **Desvantagens:** Detecta qualquer objecto no raio de alcance, e a luz ambiente, especialmente solar, pode causar leituras imprecisas. É vulnerável a vandalismo, possui baixa protecção contra água e enfrenta problemas em temperaturas elevadas.

---

<sup>5</sup> IP (*Ingress Protection*) – IP68 especifica a protecção do dispositivo contra poeira e água ou mesmo imersão até certa profundidade especificada.

### iii. Radar

- **Vantagens:** São ótimos, pois a presença de sujeira não interfere na detecção.
- **Desvantagens:** seu valor de aquisição é normalmente elevado em comparação com outros tipos de sensores e detectam qualquer objecto na área de actuação, sendo suas desvantagens. Podem ser facilmente removidos e possuem fraca protecção contra água, em alguns modelos.

### iv. Sensor de pressão

- **Vantagens:** Detecta objectos por medição de massa, podendo ser ajustado para responder apenas a massas mínimas, como veículos. É resistente à humidade, água e vandalismo.
- **Desvantagens:** Necessita de montagem na via pública e geralmente é volumoso, exigindo uma área maior para instalação. Além disso, precisa ser posicionado de modo que as rodas do veículo estejam sobre o sensor.

A análise das vantagens e desvantagens de cada tipo de sensor indica que os sensores magnéticos são a solução mais prática. Instalados no asfalto, esses sensores captam variações no campo magnético causadas pelas partes metálicas do veículo, como o motor, evitando interferências de objectos não ferrosos e sujeira na detecção.

#### 4.1.5 Comparação dos diferentes tipos de *gateways* disponíveis

Para avaliar as opções de *gateway* disponíveis, os critérios considerados serão custo, número de dispositivos terminais suportados e largura de banda. Com cerca de 12.000 espaços de estacionamento no município, espera-se um volume significativo de dados enviados dos sensores para o *gateway*. O *gateway*, portanto, deve ter capacidade suficiente para receber e encaminhar esses dados.

Os pacotes enviados pelos sensores são simples, contendo apenas o identificador do sensor e o estado (0 ou 1). Contudo, devido ao grande número de sensores, o volume total de dados será alto. A seguir, a tabela apresenta a descrição dos dispositivos *gateway* disponíveis para comparação.

## Capítulo IV – Proposta de Solução

Tabela 3 – Tabela comparativa dos diferentes tipos de *gateways*.

Modelo	Descrição	Interfaces e transmissão	Dispositivos terminais e distância	Custo (MZN)
DSGW-014 LoRaWAN Gateway IP66	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Aplicação:</b> Opera em redes LoRaWAN, comunicando dispositivos LoRa externos.</li> <li>✓ <b>Protocolos:</b> LoRaWAN, Wi-Fi, Bluetooth 5.0.</li> <li>✓ <b>Alimentação:</b> PoE<sup>6</sup> para (44~57 V).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ WAN/LAN</li> <li>✓ 10/100 Mbps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Depende do n.º de canais e factor de espalhamento.</li> <li>✓ 6 Km</li> </ul>	30,718.45
DSGW-380-1 RK3588 AI Edge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicação:</b> Casa inteligente, serviço inteligente da indústria de segurança.</li> <li>• <b>Protocolos:</b> Bluetooth 5.2, LoRaWAN, Wi-Fi 6, 5G, LTE.</li> <li>• <b>Alimentação:</b> DC 12V/4A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS232, RS485, portas de E/S, 2 portas RJ45 Gigabit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais de 500 sensores IoT, dependendo da configuração.</li> <li>• 8 Km.</li> </ul>	73,357.19
Aurtron CG58LD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicação:</b> Cidades e comunidades inteligentes</li> <li>• <b>Protocolos:</b> LoRaWAN (Class A, Class B, Class C), Wi-Fi, BLE.</li> <li>• <b>Alimentação:</b> 9 ~ 36Vdc (típico: 12Vdc).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet, 433/470/868/915/923, MHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milhares de <i>endpoints</i></li> <li>• 8 Km</li> </ul>	23,117.86
Raspberry Pi 4B 8GB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicação:</b> automação e controlo.</li> <li>• <b>Protocolos:</b> Configurável por adição de módulos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet, USB, HDMI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depende da adição de módulos.</li> </ul>	2,587.02

<sup>6</sup> Power over Ethernet: alimentação pelo cabo ethernet

## Capítulo IV – Proposta de Solução

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alimentação:</b> 5V/2A – 3A.</li> </ul>			
LoraWan Gateway Outdoor F8L10GW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Protocolos:</b> LoRaWAN (Class A, Class B, Class C), LinkWAN, Wi-Fi.</li> <li>• <b>Aplicação:</b> Indústria inteligente.</li> <li>• <b>Alimentação:</b> AC220V, opcional PoE e DC 9~36V.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS-232, Ethernet WAN,</li> <li>• 125, 250, 500 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centenas de unidades dependendo da implementação</li> <li>• 6 Km</li> </ul>	26,129.34
Link Labs Gateway	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Protocolos:</b> LTE, LoRaWAN, Wi-Fi, GSM.</li> <li>• Solução ideal para implementações de grande escala.</li> <li>• <b>Aplicação:</b> Empresarial e industrial para IoT.</li> <li>• <b>Alimentação:</b> 12V/1 – 2A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RJ-45, RS-232, USB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milhares de dispositivos ou sensores.</li> <li>• 10 Km</li> </ul>	88,044.6
Multitech Conduit – MTCDDT-L4N1-246A-915-US	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicação:</b> Ideal para grandes redes IoT em ambientes industriais e comerciais, com desempenho consistente e alta confiabilidade.</li> <li>• <b>Protocolos:</b> LoRaWAN, BT/BLE, 4G-LTE.</li> <li>• <b>Alimentação:</b> DC 9 – 24V/1.5 – 2A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet</li> <li>• ISM<sup>7</sup> globais como 868 MHz e 915 MHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode gerenciar milhares de sensores</li> <li>• 10 Km</li> </ul>	51,833.76

<sup>7</sup> Industrial, Scientific and Medical – são bandas de frequências internacionais sem necessidade de licença, usadas na indústria, ciência e medicina

## Capítulo IV – Proposta de solução

---

Ao avaliar as diferentes opções disponíveis, considerando tanto o custo quanto as necessidades específicas do projecto, o **Multitech Conduit – MTCDD-L4N1-246A-915-US** torna-se uma escolha adequada. A escolha baseia-se em vários factores críticos que tornam este *gateway* uma solução ideal para nosso cenário de aplicação.

### ✓ **Simplicidade de Configuração**

A instalação e o gerenciamento fáceis do Multitech Conduit reduzem tempo e custos, essenciais em projectos de grande escala. A interface intuitiva permite configuração rápida, minimizando a necessidade de treinamento e suporte contínuo.

### ✓ **Capacidade de Gerenciamento de Dispositivos IoT**

O Multitech Conduit destaca-se por sua capacidade de gerenciar uma vasta gama de dispositivos IoT, suportando milhares de *endpoints* e capturando sinal a até 10 km em locais abertos. Essencial para projectos com muitos sensores e dispositivos, como redes de estacionamento inteligente e monitoramento ambiental, sua robustez e escalabilidade garantem o desempenho mesmo com o aumento de dispositivos conectados.

### ✓ **Suporte a Diversos Protocolos e Interfaces de Comunicação**

O modelo oferece suporte a Bluetooth Low Energy (BLE) e Wi-Fi, entre outros. O BLE permite comunicação eficiente com dispositivos de baixo consumo de energia, ideal para sensores com bateria. O Wi-Fi proporciona conectividade flexível, integrando-se com redes locais e facilitando a comunicação com servidores e outros dispositivos.

### ✓ **Versatilidade e Futuro-Prova**

O Multitech Conduit é versátil, podendo integrar módulos de expansão como 4G LTE e GPS, além de outras tecnologias emergentes. Essa flexibilidade permite que o *gateway* evolua com o projecto, incorporando novas tecnologias sem substituir o hardware, protegendo o investimento inicial e mantendo a solução eficaz conforme as necessidades do projecto mudam.

### ✓ Viabilidade técnica e rede de telecomunicação

As interfaces 4G/LTE e Ethernet do Multitech Conduit permitem conexão eficiente com a central, utilizando redes de telecomunicações móveis amplamente distribuídas nas áreas urbanas. Esse uso da infra-estrutura existente elimina a necessidade de uma rede dedicada, economizando custos. As redes móveis, consideradas estáveis e de bom alcance, suportam bem a conectividade do dispositivo, oferecendo uma solução rápida e económica para o município, simplificando a implantação e manutenção do sistema.

## 4.2 Camadas do sistema proposto

Para a implementação sistema, são necessárias quatro camadas principais: de sensores, de rede, de *gateway* e de aplicação que serve de interface entre o sistema de sensores e o pessoal de fiscalização ou gestão.

### 4.2.1 Camada de sensores

Na camada de sensores, estão os dispositivos que detectam a presença de veículos, monitorando continuamente as vagas para identificar se estão ocupadas ou livres. Quando um veículo é detectado ou sai, o sensor emite um sinal actualizando o estado da vaga. Para enviar essas informações à camada de *gateway*, o sensor magnético utiliza um módulo de rede sem fio LoRaWAN, tecnologia ideal para IoT, que permite comunicação a longas distâncias com baixo consumo de energia.

### 4.2.2 Camada de rede sem fio de área metropolitana - LoRaWAN

A comunicação adoptada será sem fio, devido à sua eficácia e à ausência de necessidade de recuperação de erros. A largura de banda necessária é baixa, pois o *gateway* gerenciará o controlo dos sensores, enviando relatórios para o módulo central. O protocolo escolhido para a transmissão é o LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), que oferece uma largura de banda de 0.3 a 27 kbps. Essa tecnologia é simples de implementar e requer menos recursos financeiros em comparação com Wi-Fi e ZigBee.

LoRaWAN é uma tecnologia de comunicação sem fio adequada para áreas metropolitanas. Seu alcance pode atingir cerca de dez quilômetros (10 Km) em áreas abertas. É uma das mais populares para a implementação da Internet das Coisas, permitindo comunicação a longas distâncias, mas com taxas de dados mais baixas do que ZigBee ou Bluetooth (“LoRa,” 2024). O protocolo será usado para comunicar os sensores de estacionamento com o *gateway* na torre de comunicação, normalmente localizada a algumas unidades de quilômetros dos sensores.

A escolha de LoRaWAN é estratégica, pois oferece várias vantagens para a gestão de estacionamentos. Sua capacidade de longo alcance permite que os sensores enviem sinais para o *gateway* central em grandes áreas, eliminando a necessidade de múltiplos *gateways* e reduzindo custos de infra-estrutura. Além disso, o baixo consumo de energia dos módulos LoRaWAN permite que os sensores operem por longos períodos sem manutenção frequente, aumentando a confiabilidade e eficiência do sistema.

### 4.2.3 Camada de *gateway*

Os sensores serão acoplados a um módulo de rede sem fio de médio alcance, utilizando a tecnologia LoRaWAN, permitindo comunicação eficiente e de longo alcance entre os sensores e o *gateway* central. Este *gateway* interligará e gerenciará os sensores distribuídos pelo estacionamento, actuando como ponto central de comunicação.

O *gateway* colecta dados de todos os sensores, consolida as informações e as transmite, através da Internet para o sistema de gestão central, onde são processadas e armazenadas. Além disso, o *gateway* pode realizar análises preliminares, como detecção de padrões de ocupação e identificação de problemas nos sensores.

O uso de sensores com tecnologia LoRaWAN, juntamente com a integração com o *gateway*, assegura que o sistema de estacionamento opere de maneira eficaz e confiável. Isso melhora a experiência dos motoristas e aumenta a utilização dos espaços disponíveis, permitindo uma gestão otimizada das vagas. A infra-estrutura robusta e escalável pode ser expandida para atender a futuras necessidades, como a adição de novos sensores ou integração com outros sistemas inteligentes.

### 4.2.4 Camada de aplicação

O programa na central de controlo receberá todos os dados enviados pelos sensores através do gateway, sendo responsável por diversos processos críticos, incluindo:

- **Armazenamento de históricos**

Os dados recebidos serão armazenados em um banco de dados para futuras consultas e análises, permitindo a geração de relatórios detalhados sobre a utilização do estacionamento e ajudando na tomada de decisões estratégicas.

- **Geração de notificações**

O sistema gerará notificações automáticas para diferentes eventos, como o fim do tempo de estacionamento, a necessidade de pagamento ou a detecção de estacionamento sem pagamento. Essas notificações serão enviadas aos motoristas via SMS, *e-mail* ou aplicativo móvel, garantindo que estejam informados sobre o status do estacionamento.

- **Controlo e Recepção de Mensagens de Confirmação de Pagamento**

O sistema processará as confirmações de pagamento enviadas pelos usuários. Após a confirmação, o sistema actualizará o estado da vaga e ajustará o tempo permitido de permanência do veículo.

A combinação de sensores LoRaWAN, *gateway* central eficiente e um programa de controlo abrangente criará um sistema de estacionamento inteligente que melhora a experiência dos motoristas e otimiza a gestão dos recursos de estacionamento, aumentando as receitas municipais e a eficiência operacional.

### 4.3 Descrição dos módulos do sistema central de gestão

Nesta seção, será descrito o sistema que se comunicará com os sensores nas vias públicas. O objectivo deste trabalho não é propor um novo sistema de gestão, pois a empresa já possui um sistema em uso, mas sim integrar sensores de presença ao sistema actual. Assim, serão desenvolvidos os módulos necessários para a integração e comunicação do sistema com a rede de sensores.

### 4.3.1 Grupos de interessados

- **Utente:** Realiza o pagamento do estacionamento, com a adição da referência para localizar o estacionamento, facilitando o trabalho da equipa de fiscalização.
- **Funcionário de fiscalização:** Recebe notificações sobre irregularidades na ocupação dos espaços e é accionado para intervir em casos de ocupações sem o devido pagamento. As notificações de autorização de bloqueio são geradas automaticamente pelo sistema, orientando a equipa até o local.
- **Gestor central:** Responsável por monitorar os estados de ocupação dos espaços, verificar multas dos utentes e outras actividades relevantes da gestão.

### 4.3.2 Requisitos do sistema

Para Sommerville (2011), requisitos de um sistema são as declarações ou descrições que um sistema deve cumprir, os serviços e as restrições que o sistema deve oferecer. Um sistema, normalmente possui requisitos funcionais e não funcionais.

#### a. Requisitos funcionais (RF)

Os requisitos funcionais de um sistema definem o que ele deve cumprir para atender às necessidades do usuário, abrangendo desde o comportamento do sistema ao inserir dados até as acções que ele deve realizar (Sommerville, 2011). É essencial que esses requisitos reflectam as necessidades dos usuários. Os módulos propostos devem atender aos seguintes requisitos fundamentais para seu funcionamento:

#### ✓ RF01. Ocupar a vaga

O sistema irá requisitar dados para ocupação da vaga (matrícula, tempo necessário) para que o utente seja alocado com sucesso no estacionamento.

#### ✓ RF02. Introdução do ID da vaga

Após a introdução dos dados necessários, o cliente deverá introduzir o identificador do estacionamento para efeitos de rastreamento do espaço e tratamento de problemas.

### ✓ RF03. Verificar histórico do cliente

O sistema exibirá o histórico de ocupação da vaga do usuário, incluindo o tempo de estacionamento, o tempo restante, irregularidades e as multas aplicadas.

### ✓ RF04. Mostrar pontos de ocupações ilegais

O sistema notificará a equipa de fiscalização e os funcionários da central de gestão sobre estacionamentos ilegais. Ele registrará todos os pontos com sensores e as rotas para alcançá-los, fornecendo um mapa da localização dos sensores na cidade.

### ✓ RF05. Enviar notificação de tempo esgotado ao utente.

O sistema notificará o usuário sobre o tempo esgotado, permitindo que ele pague novamente ou libere a vaga. Isso é essencial para evitar multas em caso de esquecimento.

### ✓ RF06. Notificação de abandono do estacionamento

Os usuários receberão notificações ao saírem do estacionamento. Essa notificação é crucial para a segurança dos veículos, permitindo que o usuário confirme a saída ou reporte uma saída não reconhecida, ativando mecanismos de busca se necessário.

## **b. Requisitos não funcionais (RNF)**

São requisitos que garantem o bom funcionamento do sistema. Para Sommerville (2011), são restrições definidas no sistema como o caso de restrições de tempo, restrições impostas por certos padrões existentes ou ainda no processo de desenvolvimento. Os requisitos não funcionais são aplicados ao sistema em geral, sem especificação por partes como nos funcionais.

### ✓ RNF01. Usabilidade

A interface do sistema deve ser agradável e fácil de usar para minimizar o cansaço dos usuários.

### ✓ RNF02. Desempenho

O sistema deve ter um tempo de resposta curto, especialmente para o **RF06**, garantindo que as notificações de saída sejam geradas imediatamente ao detectar a vaga livre.

### ✓ RNF03. Escalabilidade

O sistema deve poder crescer para atender à demanda sem grandes alterações.

### ✓ RNF04. Interoperabilidade

A comunicação com sistemas de pagamento, como bancários e carteiras móveis, é essencial.

### ✓ RNF05. Segurança

Segurança robusta, especialmente para pagamentos e notificações de abandono, é necessária.

### ✓ RNF06. Disponibilidade

O sistema deve estar disponível conforme o período de actividade planejado pelo município.

## Diagrama de casos de uso

Os casos de uso são representados pelo rótulo **CU (Caso de Uso)**, seguido do número de caso de uso, por exemplo **02**, identificando o caso de uso número 2.

Com os objectivos do sistema a propor, foi possível chegar aos casos de uso abaixo através da análise das necessidades dos actores principais do sistema.

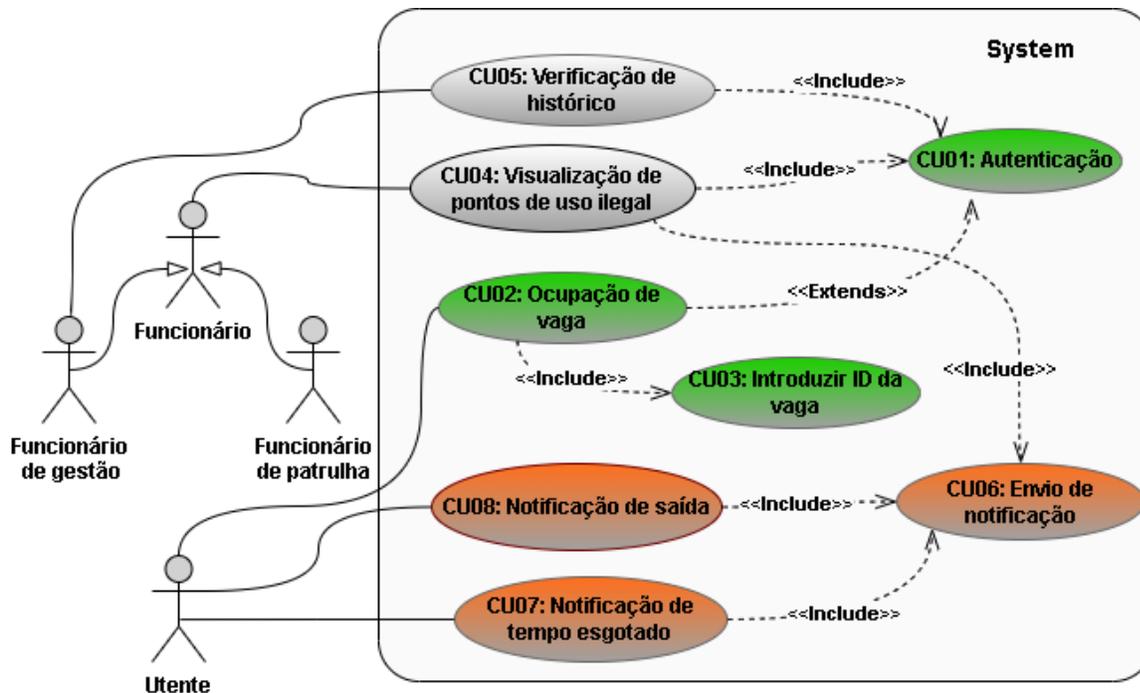


Figura 12 – Diagrama de casos de uso do sistema

Os casos de uso **CU01**, **CU02**, **CU03**, **CU04** e **CU05**, marcados a cor verde e cinza são essenciais para a implementação do sistema, representando um diferencial em relação ao sistema actual. Os requisitos **CU06**, **CU07** e **CU08**, marcados a cor laranja, são desejáveis e podem ser adicionados no futuro com o sistema já em funcionamento.

A descrição dos casos de uso para o sistema, encontra-se na secção de anexos (*vide anexo 2*)

### 4.4 Desenvolvimento do protótipo do sistema

Nesta seção, será descrito o processo de prototipagem para simular o desempenho do sistema proposto, com o objectivo de demonstrar a comunicação eficiente entre a rede de sensores e o servidor de aplicação. Serão necessários sensores para colecta de dados, uma plataforma que actuará como *gateway* e um servidor para alojar e processar os dados colectados.

Além dos sensores e do microcontrolador, uma aplicação será necessária para comunicação com o microcontrolador. O servidor aloja a aplicação responsável por gerenciar e processar os dados, garantindo a correcta interpretação das informações.

O desenvolvimento do protótipo visa demonstrar a interacção entre sensores, microcontrolador e servidor de aplicação, incluindo a colecta de dados pelos sensores, pré-processamento no microcontrolador, envio para o servidor e armazenamento pela aplicação. Este processo é crucial para identificar melhorias e ajustes necessários antes da implementação em larga escala do sistema final.

#### 4.4.1 Gateway de comunicação

Foi escolhido um Arduino UNO R3 para simular um *gateway* dos sensores, devido à sua disponibilidade e baixo custo. O Arduino UNO é uma plataforma de programação livre, amplamente utilizada em automação e robótica, que exige pouco conhecimento para manipulação e programação. Utiliza um ambiente de desenvolvimento próprio, chamado Arduino IDE, e é programado em C++ (“Arduino,” 2024). O programa criado é compilado e executado continuamente; apenas um programa pode estar em execução por vez. Quando um novo programa é enviado, substitui o antigo.

O Arduino possui 6 entradas analógicas ( $A_i$ ) para captura de sinais contínuos, como os de sensores de temperatura, e 14 digitais ( $D_i$ ), para sinais discretos. As entradas digitais funcionam frequentemente como saídas para comandos simples, precisando apenas de '0 ou 1'. A placa é conectada via cabo USB, que polariza os componentes, envia o programa

para a memória do Arduino e permite a comunicação com o programa no computador através da porta serial.

### 4.4.2 Sensores de teste

Foram utilizados dois sensores disponíveis: um sensor ultra-sónico e um sensor de humidade. O objectivo desses sensores é enviar um sinal ao detectar uma acção. Eles capturam e enviam sinais para o sistema central, independentemente do tipo, visando simular e avaliar o desempenho do protótipo.

O sensor ultra-sónico teve seu pino do gatilho (*trigger*) conectado à entrada digital  $D_{10}$  e o de escuta (*echo*) à  $D_9$ . Para o sensor de humidade, o pino de sinal (*S*) foi conectado à entrada analógica  $A_0$  e ambos sensores polarizados com 5 volts do microcontrolador.

Cada sensor foi acoplado a um díodo para sinalizar a presença de um objecto, iluminando apenas quando o sinal desejado é detectado e enviado ao sistema central. O pino positivo do díodo do sensor ultra-sónico foi ligado à entrada digital D7 e o do sensor de humidade à D3, com os pinos negativos conectados ao aterramento.

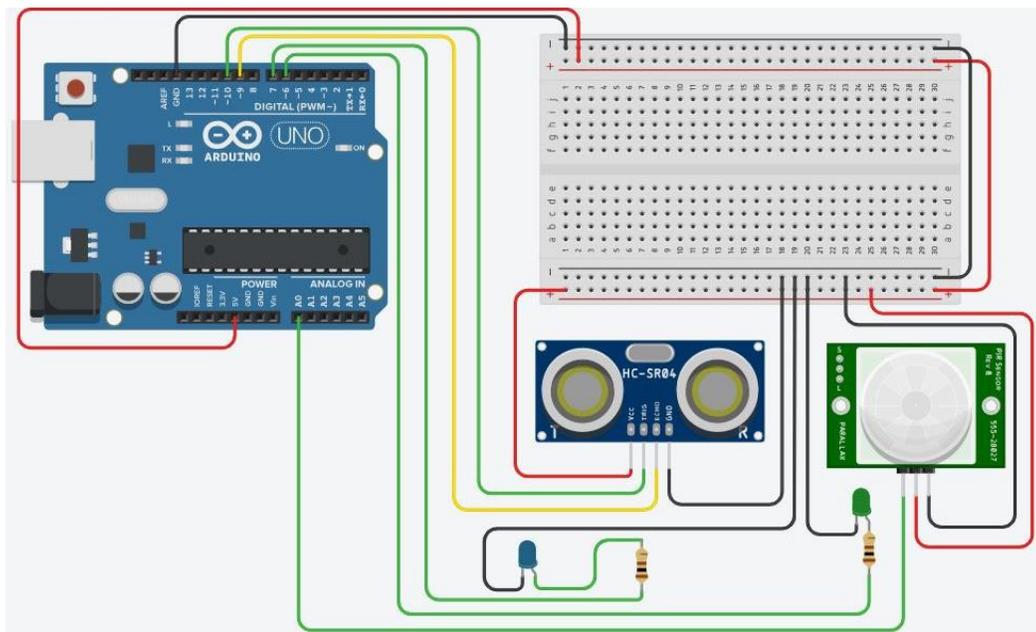


Figura 13 – Diagrama de circuitos para simulação.

Fonte: Autor (2024)

### 4.4.3 Sistema central de gestão

Para o sistema central de gestão, foi desenvolvida uma aplicação para simular o processo de comunicação entre a central e a rede de sensores, bem como receber requisições de usuários e actualizar o estado de ocupação de vagas de estacionamento dos utentes. Assim foi desenvolvida uma aplicação para se comunicar com o microcontrolador através da porta serial (USB), recebendo dados correspondentes aos valores lidos pelos sensores.

#### i. Funcionamento do sistema

O fluxo de dados começa quando o sensor detecta a presença de um objecto. O sinal é enviado ao microcontrolador, que calcula a distância do objecto e toma decisões baseado no resultado. Quando o objecto está próximo, o microcontrolador envia um sinal de presença à aplicação via porta serial, transmitindo os registos dos sensores a cada segundo. Esses dados são processados, armazenados e disponibilizados ao cliente (*Vide Figura A4 - 3*).

Durante a operação do servidor, um cliente pode requisitar um relatório dos registos de ocupação, filtrando por multas, ocupações normais ou todos os registos (*Vide Figura A4 – 1, Figura A4 – 2*). Para demonstração, os dados são armazenados em um *array* e perdidos quando o servidor é encerrado.

#### ii. Comunicação com o utente

Após ocupar uma vaga, o utente deve acessar a aplicação, preencher o formulário com os dados exigidos e submetê-lo. A aplicação verifica se o código do sensor indicado corresponde a um identificador válido e activo (livre). Se a informação for válida, actualiza o tempo de ocupação no registo correspondente.

Se o código não for válido ou o estado do sensor for pendente ou já estiver ocupado por outro utente, a aplicação retorna uma mensagem de insucesso informando a causa. O utente pode também prolongar a permanência, aumentando o tempo, efectuando o pagamento. O sistema actualiza o registo de ocupação automaticamente.

## Capítulo IV – Proposta de solução

---

As multas são controladas pelo sistema, que estabelece um tempo de permanência permitido antes de reportar estacionamento sem pagamento. Para esta simulação, o tempo é de dez (10) segundos para que o utente submeta a requisição antes que o sistema considere como estacionamento sem pagamento e aplique a multa.

### 4.5 Custo de implantação

Actualmente a empresa administra cerca de 12,000 espaços de estacionamento, abaixo da avenida 24 de Julho (Figura 14), com diversos contractos (pagamento por hora, por dia, por mês ou por ano). Cada espaço requer um sensor magnético, além de *gateways* para encaminhamento de dados à central. Os sensores vêm com as respectivas baterias e módulos de rede embutidos.

Os sensores do projecto são equipados com placas de rede LoRa, ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi, necessitando apenas da activação e configuração do dispositivo. Para a implantação do projecto, são necessários os equipamentos descritos nas tabelas 3 e 4 do capítulo 4.

Tabela 4 – Orçamento do projecto

	<b>Descrição</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total (MZN)</b>
1	Sensor magnético	3229.88 MZN	12,000	38,758,560.00
2	Porta de saída ( <i>Gateway</i> )	51,833.76 MZN	12	622,005.50
3	Mão-de-obra	8,000.00/t*m <sup>8</sup>	40	320,000.00
Total				39,700,565.50

A Tabela 4 apresenta de forma resumida o plano orçamental para a execução do projecto. O cálculo do valor total da mão-de-obra foi realizado com base em um número de trabalhadores suficientes para concluir o trabalho em um mês. No entanto, é possível reduzir o número de trabalhadores, o que resultaria na extensão do tempo do projecto.

---

<sup>8</sup> 8,000.00/t\*m – oito mil por trabalhador por mês.



## Capítulo IV – Proposta de solução

---

O alcance de um sensor é de cerca de **1000 m**, o que significa que um sensor pode se comunicar dentro de um raio até **1 km**. Dividindo a área total em circunferências de raio de **1 km**, obtém-se o número de circunferências que cobre a área.

- Área total do espaço:  $A_0 = 14965000 \text{ m}^2$
- Área de cada circunferência:  $A_1 = 3140000 \text{ m}^2$

O número total de circunferências é dado por  $n = \frac{A_0}{A_1} = 4.766$ , o que equivale a cinco (5) circunferências. Em cada circunferência existirão aproximadamente três mil (3000) sensores e cada *gateway* se comunica com, em média mil (1000) sensores, cada espaço da circunferência precisará de três (3) dispositivos de *gateway*.

### 4.5.2 Desafios técnicos na implementação do projecto

Sendo um projecto inicial, a disponibilidade de técnicos qualificados será um grande desafio, exigindo que os profissionais recebem formação prévia antes do início de actividades.

Essa formação deverá ser muito breve, uma vez que os técnicos precisarão apenas se familiarizar com os dispositivos, aprender regras de segurança para evitar danos ocasionados por quedas ou descargas electrostáticas e realizar manutenções periódicas, como troca de baterias e substituição de dispositivos danificados ou com problemas de funcionamento.

## **5 Capítulo V – Discussão dos resultados**

### 5.1 Discussão dos resultados de pesquisa

A pesquisa sobre gestão e uso do estacionamento rotativo foi feita em duas fases. A primeira se dedicou aos funcionários da empresa onde foram entrevistados o gestor da empresa e o chefe das operações das equipas de fiscalização. A segunda fase foi direccionada aos usuários do estacionamento rotativo, onde responderam a um inquérito partilhado pelo Google fórum.

#### 5.1.1 Resultados das entrevistas aos funcionários da empresa

De acordo com os resultados das entrevistas, a empresa enfrenta o problema de abandono do estacionamento sem o devido pagamento. Esse problema ocorre quando o veículo não é fiscalizado, uma vez que a equipa apenas circula pelas avenidas para verificar a ocupação das vagas. O processo depende muito dos funcionários, e, se o veículo não for identificado, o motorista pode deixar o estacionamento sem o devido pagamento. Em avenidas menos movimentadas, é mais fácil sair sem pagamento devido à menor frequência de fiscalização, prejudicando a arrecadação de receitas municipais. Além disso, os usuários podem exceder o tempo pago, ocupando vagas que poderiam ser utilizadas por outros utentes e aumentando assim a receita.

Outra situação enfatizada pelos entrevistados é a exigência de recibos pelos utentes após o pagamento. Essa situação tem gerado problemas, especialmente à secretaria que deve imprimir recibos para os utentes quando exigem.

João Ruas, PCA da empresa afirma que as expectativas de receita estão muito abaixo do esperado, cerca de cinco milhões (5,000,000.00) de meticais mensalmente contra vinte e cinco milhões (25,000,000.00) de meticais estimados, representando cerca de 20% do esperado (*Município de Maputo falha encaixe de receitas, 2022*). A situação é muito crítica, sendo a principal causa, a falta de colaboração dos munícipes no cumprimento de seus deveres.

A tabela abaixo sintetiza as respostas dos funcionários entrevistados. No total, foram entrevistados 12 funcionários, incluindo o gestor e o chefe das operações e as

## Capítulo V – Discussão dos resultados

---

quantidades de respostas foram registadas nos espaços correspondentes para melhor análise.

Tabela 5 – Resumo de perguntas feitas aos funcionários entrevistados.

Perguntas essenciais	Muito bom	Bom	Razoável	Mau	Muito mau
Controlo de espaços	0	2	5	3	2
Receita colectada	0	0	1	8	3
Detecção de irregularidades	0	1	5	3	3
Satisfação dos funcionários	0	4	4	3	1

### 5.1.2 Análise dos resultados das entrevistas

A análise das respostas fornecidas pelos funcionários entrevistados revela uma fraqueza no controlo de espaços de estacionamento, evidenciado pelas respostas dos usuários na tabela acima. Este fato impacta directamente a receita gerada, que actualmente corresponde a apenas 20% do valor estimado (como já referido no ponto introdutório desse trabalho), conforme relatado pelo Presidente do Conselho de Administração da empresa. Esse cenário destaca a necessidade urgente de melhorias na gestão desses espaços para maior controlo e aumento de receita municipal.

Outro desafio significativo está na identificação de irregularidades (uso dos espaços sem o devido pagamento), que se mostra uma tarefa difícil para a equipa de fiscalização. O principal problema observado é a evasão dos utentes, uma vez que a detecção dessa irregularidade depende totalmente da presença da equipa de fiscalização no local, obrigando a equipa a fiscalizar de forma continua e incansável, ocasionando uma queda considerável nas receitas, prejudicando as finanças municipais.

A insatisfação dos utentes com o serviço prestado é outro ponto crítico. Muitos utentes reclamam da aplicação de multas que não condizem com o tempo excedido no estacionamento, o que deteriora ainda mais a percepção pública da qualidade do serviço e gera conflitos entre os utentes e a gestão.

## Capítulo V – Discussão dos resultados

### 5.1.3 Resultados de inquéritos dirigidos aos utentes

Os resultados do inquérito realizado com os usuários do estacionamento rotativo remunerado mostram um padrão claro de uso e preocupações. Dos 25 entrevistados, **52%** utilizam o estacionamento diariamente para ir ao trabalho, enquanto **48%** o utilizam para compras ou actividades escolares.

Quanto aos problemas enfrentados, os principais são:

- **Segurança inadequada dos veículos**, mencionada por **92%** dos entrevistados.
- **Falta de vagas** em determinados momentos do dia, indicada por **68%** dos respondentes.

A maioria dos inqueridos apoia a incorporação de novos métodos para melhorar a gestão da disponibilidade de vagas, sugerindo que há uma aceitação significativa por parte dos usuários para mudanças que optimizem a eficiência e segurança do sistema de estacionamento, bem como o controlo adequado das multas aplicadas.

Tabela 6 – Resumo de perguntas dirigidas aos utentes.

Perguntas essenciais	Muito bom	Bom	Razoável	Mau	Muito mau
Disponibilidade de vagas	1	7	12	5	0
Segurança	0	2	1	16	6
Preço aplicado	1	9	15	0	0
Satisfação do utente	0	5	15	4	1
	Nunca	Uma vez por mês	Uma vez por semana	Sempre	
Saída sem pagamento	6	12	7	0	0
Bloqueio por irregularidade	8	16	1	0	0

### 5.1.4 Análise da colecta de dados

O problema fundamentalmente está do lado da empresa, como se pode ver na análise dos resultados do inquérito dirigido aos munícipes usuários do estacionamento que se mostram razoavelmente satisfeitos com o serviço fornecido e alguns afirmando usar o serviço sem o pagamento devido.

A análise de dados colectados revela que a principal problemática enfrentada pela empresa de gestão de estacionamento rotativo é o controlo ineficiente das ocupações dos espaços. Essa dificuldade de controlo impacta directamente a receita canalizada para o município, que está muito abaixo das expectativas – cerca de 20%, conforme relatado pelo PCA da empresa.

#### Os dois principais factores identificados:

- 1. Fiscalização manual ineficiente:** A cobertura não atinge todos os espaços, o que permite que veículos ocupem vagas e as abandonem sem pagar.
- 2. Falta de colaboração dos munícipes:** Há uma percepção de que a fiscalização é inexistente ou insuficiente, e alguns usuários veem uma oportunidade para evitar o pagamento, prejudicando a arrecadação municipal, além de alguns munícipes alegarem que o uso dos espaços públicos devia ser gratuito.

Esses problemas, em conjunto, representam um desafio significativo para o controlo eficaz das ocupações em tempo real. A fiscalização manual, caracterizada por sua ineficiência, cria oportunidades para a evasão por parte dos utentes. Nesse contexto, muitos utentes encontram uma oportunidade favorável para utilizar os estacionamentos de forma irregular, devido à fragilidade no sistema de fiscalização.

Assim, a implementação de sensores de presença de veículos para monitorar os espaços e alertar o sistema central em tempo real é apontada como a solução mais eficaz para a solução do problema enfrentado. Essa tecnologia permitiria aplicar medidas como multas automáticas e intervenções da equipa de fiscalização para garantir que os veículos estejam ocupando os espaços conforme as normas, gerando, assim, a receita esperada para o município.

### 5.1.5 Conclusões constatadas

Diante dos resultados obtidos, observa-se que a empresa enfrenta grandes desafios no controlo e monitoramento dos espaços de estacionamento. A gestão ineficaz gera uma perda significativa de receita, reforçada pela necessidade de uma fiscalização mais eficiente. Conforme sugerido pelo chefe das operações de fiscalização, a implementação de notificações automáticas quando os veículos estacionam pode aumentar a eficiência da fiscalização, reduzindo os custos operacionais, como o desgaste dos veículos e o consumo de combustível. Essa medida melhoraria não apenas a produtividade dos trabalhadores, mas também aumentaria a arrecadação ao reduzir infrações.

Outro ponto importante referido pelos utentes é a questão da segurança dos veículos. Embora a empresa não seja directamente responsável por essa segurança, muitos usuários sugerem que a adopção de melhorias nesse aspecto poderia aumentar a satisfação e confiança no serviço. Portanto, essa pode ser uma área a ser considerada para futuras melhorias.

## **6 Capítulo VI – Considerações Finais**

### 6.1 Conclusões

Este trabalho centrou-se no estudo do sistema de estacionamento rotativo remunerado da Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento, com o objectivo de propor a integração de sensores de presença no sistema m-Estacionamento do município de Maputo, destacando três objectivos específicos apresentados no capítulo introdutório. O estudo surge da necessidade de solucionar o problema da baixa arrecadação de receita.

Inicialmente, o foco foi na familiarização com a empresa e o sistema de gestão de estacionamentos. Verificou-se que o controlo dos espaços de estacionamento rotativo está a cargo dos fiscais, responsáveis pela fiscalização de veículos estacionados em busca de irregularidades, principalmente o uso do espaço sem pagamento.

Após a análise dos dados da pesquisa bibliográfica e entrevistas, constatou-se a fraca canalização da receita, causada pela falta de colaboração dos munícipes no pagamento do estacionamento, e a dificuldade de fiscalizar todos os espaços de forma manual e em tempo real. O sistema actual depende dessa fiscalização manual, o que dificulta o controlo e permite que veículos saiam sem pagamento.

Diante desses resultados, foi proposto um sistema de sensores para detectar a presença de veículos nos estacionamentos, enviando sinais à central de controlo e autorizando acções à equipa de fiscalização, caso o pagamento não seja feito no devido tempo. O mapeamento dos sensores possibilitará a localização exacta dos veículos, sem a necessidade de monitoramento constante.

Para demonstrar a solução, foi criado um protótipo funcional que simulou a comunicação entre os sensores e a central de gestão. Foi possível observar o controlo em tempo real dos eventos detectados, como a contagem regressiva do tempo disponível, atribuição de multas e mudança de estado das vagas:

- Livre – vaga disponível para ocupação;
- Pendente – vaga ocupada, aguardando pagamento pelo usuário;
- Ocupado – vaga paga e em uso pelo utente.

## Capítulo VI – Considerações Finais

---

A pesquisa permitiu identificar as causas reais da baixa arrecadação e a insatisfação dos utentes com os serviços prestados. Com a criação do modelo, foi demonstrado o funcionamento da solução proposta, permitindo o controlo eficiente das ocupações nas vias públicas em tempo real.

Os testes realizados confirmaram que as ocupações podem ser monitoradas em tempo real com a ajuda dos sensores, além de reduzir as evasões de pagamento. Assim, em resposta à pergunta de pesquisa, a integração de sensores de presença para monitoramento dos estacionamento é a solução adequada para o problema de controlo das ocupações. O mapa de ocupações evidenciará irregularidades, facilitando o trabalho da fiscalização e incentivando os usuários a cumprir com o pagamento.

Dessa forma, conclui-se que os objectivos foram plenamente alcançados, e a solução proposta é eficaz para resolver o problema enfrentado pela empresa, bem como para melhorar a experiência dos utentes.

### **6.2 Limitações enfrentadas durante a pesquisa**

#### **1. Falta de material para a criação do protótipo**

Os sensores necessários para a montagem do protótipo eram de difícil acesso localmente, sendo necessário procurar e adquirir em colegas que importaram do mercado estrangeiro. Esse processo demorou algum tempo, atrasando o progresso do projecto.

#### **2. Dificuldades na realização das entrevistas**

A execução das entrevistas com os funcionários enfrentou atrasos significativos devido à ocupação dos entrevistados e à necessidade de obtenção de autorizações prévias, o que resultou em dias de espera sem avanços.

#### **3. Baixa adesão ao inquérito pelos utentes**

Houve grande dificuldade em reunir uma quantidade satisfatória de utentes para responder ao inquérito. Muitos demonstraram falta de interesse em participar, o que limitou o número de respostas a apenas vinte e cinco (25) participantes.

### 6.3 Recomendações

A primeira recomendação do estudo é a implementação deste projecto, uma vez que trará grandes benefícios para a empresa no controlo de espaços em tempo real, uso não regularizado e economia de recursos com os funcionários de fiscalização.

Com base nos resultados e na importância do estudo para os usuários, a segunda recomendação é um estudo aprofundado sobre a implementação de mecanismos de segurança, como o envio de notificações de saída, ajudando a prevenir furtos e permitindo que o usuário reaja se não reconhecer a saída, uma vez que a questão de segurança foi mencionada por cerca de 92%.

A terceira recomendação é expandir o sistema para ajudar os usuários a identificar locais livres para estacionar. Essa acção se tornaria muito mais simples, bastando mostrar um mapa de disponibilidade aos usuários, exigindo que os usuários tenham conexão à Internet.

Esta recomendação é útil quando a demanda por espaços aumentar, o que poderia resultar em fadiga na busca por vagas livres e no aumento de poluentes, caso o sistema actual não seja melhorado.

#### 6.3.1 Cronograma de actividades

A implementação do projecto está dividida em três (3) fases para melhor avaliar os resultados em cada fase e traçar melhorias para as fases subsequentes. A implementação em fases não só é útil para avaliação e melhorias para as próximas fases, mas também útil quando os recursos financeiros não são disponíveis para cobrir o projecto logo no início. Além disso, sendo um projecto por inovação, está susceptível a falhas, exigindo maior atenção e controlo de execução.

## Capítulo VI – Considerações Finais

Tabela 7 – Cronograma de actividades

<b>Fases</b>	<b>Metas</b>	<b>Desafios</b>	<b>Tempo</b>
<b>Primeira</b> Mapeamento e Planeamento	Mapeamento e cálculo da densidade dos espaços <sup>9</sup> para a instalação dos <i>gateway</i> em pontos estratégicos; Desenvolvimento de módulos adicionais para a aplicação de gestão de estacionamento.	Delimitação e visita a cada espaço; Identificar e atender requisitos técnicos para a aplicação de gestão.	Dois meses
<b>Segunda</b> Instalação e Sensibilização	Instalação física dos sensores e <i>gateways</i> nos locais mapeados, priorizando os locais mais movimentados; Estabelecimento da conexão entre os dispositivos e a aplicação de gestão.	Encontrar mão-de-obra qualificada; Sensibilização dos utentes sobre o novo sistema e seus benefícios.	Quatro meses
<b>Terceira</b> Instalação e Sensibilização	Realização de testes finais e identificação de erros; Correcção de falhas encontradas e melhorias; Avaliação de desempenho do sistema com base nos relatórios dos usuários.	Testes exaustivos para assegurar a funcionalidade; Colectar <i>feedback</i> detalhado de usuários para ajustes necessários	Dois meses

<sup>9</sup> A densidade do espaço refere-se ao número de espaços de estacionamento disponíveis numa certa área

### 7 Referências bibliográficas

- [1]. Amorim, C. A. P. (2010). *Sensores* (2nd ed.). Universidade Estadual Paulista. <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>
- [2]. Arduino. (2024). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino&oldid=67722587>
- [3]. Balbinot, D. C. (2019). *Proposta e implementação de uma solução para automação residencial*. <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/6357>
- [4]. Bernas, M., Płaczek, B., Korski, W., Loska, P., Smyła, J., & Szymała, P. (2018). A Survey and Comparison of Low-Cost Sensing Technologies for Road Traffic Monitoring. *Sensors*, 18(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/s18103243>
- [5]. Bluetooth. (2024). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth&oldid=68690429>
- [6]. Carissimi, A. (2016). *Internnet das Coisas: Middlewares e outras coisas* (pp. 25–50).
- [7]. Carvalho, I. dos S., Coelho, E. J., Ferreira, T. dos R. M., Ramos, C. de Á., & Santos, F. A. O. (2024). *VAGA FÁCIL - SISTEMA EMBARCADO PARA GERENCIAMENTO DE ESTACIONAMENTOS*. 22, 1. <https://www.even3.com.br//anais/xxii-seminario-de-iniciacao-cientifica-e-xviii-simposio-de-pesquisa-da-unifenas-391247/759700-vaga-facil---sistema-embarcado-para-gerenciamento-de-estacionamentos>
- [8]. Castro, M., Teixeira, M., Nakamura, L. H. V., & Meneguette, R. (2017, May 15). *Gerenciamento automático de vagas em estacionamentos baseado em redes de sensores sem fio para ITS*.
- [9]. Chien Yee, H., & Rahayu, Y. (2014). Monitoring Parking Space Availability via Zigbee Technology. *International Journal of Future Computer and Communication*, 3(6), 377–380. <https://doi.org/10.7763/IJFCC.2014.V3.331>

## Referências Bibliográficas

---

- [10]. *Cidade de Maputo terá quatro silos-auto até ao fim de 2023*. (2022, June 30). O País - A verdade como notícia. <https://opais.co.mz/cidade-de-maputo-tera-quatro-silos-auto-ate-ao-fim-de-2023/>
- [11]. Cidade inteligente. (2024). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Cidade\\_inteligente&oldid=67444267](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Cidade_inteligente&oldid=67444267)
- [12]. Comachio, K. D. O., & Bortolotti, S. L. V. (2020). Integração da IOT e arduino para avaliação da qualidade do leite: Uma revisão sistemática/ IOT and arduino integration for milk quality assessment: a systematic review. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1160–1177. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-081>
- [13]. Comunicações sem fio. (2022). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Comunica%C3%A7%C3%B5es\\_sem\\_fio&oldid=64896070](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Comunica%C3%A7%C3%B5es_sem_fio&oldid=64896070)
- [14]. Da Silva, E., & Menezes, E. (2005). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*.
- [15]. de Barros, M., & Licciardi, N. (2022). *SISTEMA DE TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS E COMPUTAÇÃO EM NUVEM PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DE ÁREAS AGRÍCOLAS (SYSTEM USING INTERNET OF THINGS AND CLOUD COMPUTING TO INCREASE THE PRODUCTIVITY AGRICULTURA AREAS)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14312.34567>
- [16]. Divisão administrativa. (2023). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Divis%C3%A3o\\_administrativa&oldid=66779154](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Divis%C3%A3o_administrativa&oldid=66779154)
- [17]. *Emme*. (2024). [https://www.emme.co.mz/who\\_we\\_are.html](https://www.emme.co.mz/who_we_are.html)
- [18]. ESP8266. (2022). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=ESP8266&oldid=64810060>

## Referências Bibliográficas

---

- [19]. *Estacionamento rotativo*. (2022, March 14). O País. <https://opais.co.mz/estacionamento-rotativo-quem-nao-pagar-nao-tera-manifesto-nem-inspecao/>
- [20]. *Estacionamento rotativo*. (2024, January 27). [O País]. A verdade como notícia. <https://opais.co.mz/estacionamento-rotativo-continua-a-gerar-menos-receitas-para-os-cofres-do-municipio-de-maputo/>
- [21]. Evidências. (2023, February 2). *Empresa municipal só factura 17.500 meticais por dia contra os 250 mil previstos* -. <https://evidencias.co.mz/2023/02/02/estacionamento-rotativo-acaba-de-entrar-no-rol-de-projectos-falhados/>
- [22]. *Evolução dos medidor de estacionamento*. (2024, March 15). FasterCapital. <https://fastercapital.com/pt/contente/Medidor-de-estacionamento--de-moedas-a-aplicativos--a-evolucao-dos-medidores-de-estacionamento.html>
- [23]. Fernandes, V., Sacramento, I., & Ferreira, E. (2020). INTEGRAÇÃO IOT E GIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE SUAS APLICAÇÕES. *Caminhos de Geografia*, 21, 93. <https://doi.org/10.14393/RCG217853038>
- [24]. Francisco, A. (2007, August 18). *Revolução Verde em Moçambique: Será Possível, Provável ou Viável no Contexto das Estratégias Actualmente Dominantes*.
- [25]. Freitas, L. de O., & Neto, A. P. F. (2023). *Computação em nuvem: Uma breve revisão bibliográfica*. <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/9749>
- [26]. Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. Atlas. <https://ria.ufrn.br/jspui/handle/123456789/1236>
- [27]. Kianpisheh, □, Mustaffa, N., Limtrairut, P., & Keikhosrokiani, P. (2012). Smart Parking System (SPS) Architecture Using Ultrasonic Detector. *International Journal of Software Engineering and Its Application*, 6.

## Referências Bibliográficas

---

- [28]. LoRa. (2024). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LoRa&oldid=1222490704>
- [29]. *LoRa Modules with antena*. (2024, June 8). aliexpress.com. [https://es.aliexpress.com/item/4000075670404.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/4000075670404.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=)
- [30]. Machado, M., & Abreu, G. (2020). A CONDIÇÃO EVANGÉLICA DA GLOBALIZAÇÃO E A ESTRATÉGIA POLÍTICO-ESPACIAL DA UNIVERSAL DO REINO DE DEUS. *Geo UERJ*. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.56895>
- [31]. Mancini, M. (2017). Internet das Coisas: História, conceitos, aplicações e desafios. *Project Management Institute–PMI*. <http://mmproject.com.br/wp-content/uploads/2020/02/artigo-iot-monicamancini-v1.pdf>
- [32]. Melsen, N. V. (2013, July 16). *History lesson: The first parking meter*. <https://www.parking.net/parking-industry-blog/history-lesson-the-first-parking-meter>
- [33]. Michel, M. H. (2005). *Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais um guia prático para acompanhamento da disciplina e elaboração de trabalhos monográficos*. Atlas.
- [34]. Microcontrolador. (2021). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Microcontrolador&oldid=62168586>
- [35]. Minayo, M. C. D. S., & Sanches, O. (1993). Quantitativo-qualitativo: Oposição ou complementaridade? *Cadernos de Saúde Pública*, 9(3), 237–248. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1993000300002>
- [36]. Município. (2024). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Munic%C3%ADpio&oldid=67354380#cite\\_ref-1](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Munic%C3%ADpio&oldid=67354380#cite_ref-1)

## Referências Bibliográficas

---

- [37]. *Município de Maputo falha encaixe de receitas*. (2022, January 11). O País - A verdade como notícia. <https://opais.co.mz/municipio-de-maputo-falha-encaixe-de-receitas-com-estacionamento-rotativo/>
- [38]. *Município de Maputo introduz estacionamento rotativo eletrônico*. (2021, April 27). O País - A verdade como notícia. <https://opais.co.mz/municipio-de-maputo-introduz-estacionamento-rotativo-electronico/>
- [39]. Nemlaha, E., Strelec, P., Horák, T., Kováč, S., & Tanuska, P. (2023). *Suitability of MQTT and REST Communication Protocols for AIoT or IIoT Devices Based on ESP32 S3* (pp. 225–233). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6_19)
- [40]. *ONU-Habitat: População mundial será 68% urbana até 2050 | As Nações Unidas no Brasil*. (2022). <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>, <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>
- [41]. *Organograma – Prefeitura Municipal de Bom Jardim*. (2024). <https://bomjardim.pe.gov.br/organograma/>
- [42]. *Organograma—Município de Albufeira*. (2024). <https://www.cm-albufeira.pt/organograma>
- [43]. Paiva, F. (2024, March 11). *Base mundial de dispositivos IoT na rede móvel crescerá 90% até 2028*. TELETIME News. <https://teletime.com.br/11/03/2024/base-mundial-de-dispositivos-iot-na-rede-movel-crescera-90-ate-2028/>
- [44]. Pereira, L. H. J. (2018). *Monitoramento do consumo de energia elétrica e controle de equipamentos via aplicativo*. <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/922>
- [45]. Pina, J. H. A., Lima, O. A. de, & Silva, V. de P. da. (2008). Município e Distrito: Um estudo teórico. *Revista Campo-Território*, 3(6 Ago.), Article 6 Ago. <https://doi.org/10.14393/RCT3611851>

## Referências Bibliográficas

---

- [46]. Protocolo (ciência da computação). (2023). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Protocolo\\_\(ci%C3%A2ncia\\_da\\_computa%C3%A7%C3%A3o\)&oldid=67068416](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Protocolo_(ci%C3%A2ncia_da_computa%C3%A7%C3%A3o)&oldid=67068416)
- [47]. Raspberry Pi. (2024). In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry\\_Pi&oldid=67705684](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=67705684)
- [48]. *Saúde—Apple Watch*. (2024). Apple (Brasil). <https://www.apple.com/br/healthcare/apple-watch/>
- [49]. Sommerville, I. (2011). *Engenharia de Software* (9th ed.). <https://www.facom.ufu.br/~william/Disciplinas%202018-2/BSI-GSI030-EngenhariaSoftware/Livro/engenhariaSoftwareSommerville.pdf>
- [50]. Thomazini, D., & Albuquerque, P. U. B. de. (2020). *Sensores industriais: Fundamentos e aplicações*. Saraiva Educação S.A.
- [51]. Yee, H., & Rahayu, Y. (2014). Monitoring Parking Space Availability via Zigbee Technology. *International Journal of Future Computer and Communication*, 3, 377–380. <https://doi.org/10.7763/IJFCC.2014.V3.331>

## 8 Anexos

## Anexos

---

### Anexo 1 – Questionário aplicado à Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento

#### Perguntas essenciais

**E01.** Os clientes podem reservar espaço onde estiverem, ou seja, reservar estando ainda em suas casas ou noutra local distante do parque?

**E02.** Quando, se por ventura, o cliente estacionar mal, é possível detectar a anomalia?

**E03.** Quando o utilizador libera o espaço, ocorre a notificação de liberação do espaço no sistema?

**E04.** O sistema em uso possui formas de controlo dos espaços?

✓ Se sim, de que forma ocorre essa gestão?

✗ Se não, o que seria se se criasse uma forma automática de controlo de espaços, isto é, se não fosse necessário verificar pessoalmente se há ou não espaço para o estacionamento?

**E05.** Quais são as medidas adoptadas para garantir a fluidez do tráfego dentro do estacionamento?

**E06.** Como funciona o processo de atribuição de espaço ao novo cliente?

**E07.** Quais são os principais desafios enfrentados actualmente no gerenciamento dos espaços de estacionamento?

**E08.** Como os clientes são informados sobre a disponibilidade de espaços de estacionamento no parque?

**E09.** Que medidas são adotadas para garantir a segurança dos veículos estacionados?

**E10.** Qual é a visão da instituição em relação ao controlo e gestão dos espaços?

**E11.** Existe algum programa/projecto de melhoria do sistema actual?

### Perguntas complementares

**M01.** Quais são os requisitos necessários para que um veículo seja considerado elegível para estacionamento no parque?

**M02.** Como é feita a gestão de acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida?

**M03.** A empresa possui algum programa de fidelidade ou benefícios para clientes frequentes?

**M04.** Como é feita a manutenção dos equipamentos e sistemas utilizados no estacionamento?

**M05.** Existe alguma iniciativa em andamento para tornar o estacionamento mais amigável ao meio ambiente ou mais sustentável?

**M06.** Como a empresa avalia a satisfação do cliente em relação aos serviços de estacionamento oferecidos?

**M07.** Como são tratadas as reclamações ou problemas relatados pelos clientes em relação ao estacionamento?

**M08.** Como são tratados os casos de veículos abandonados no estacionamento?

**M09.** Como a empresa lida com períodos de grande demanda, como feriados ou eventos especiais?

## Capítulo IV – Proposta de Solução

---

### Anexo 2 – Descrição dos casos de Uso

Tabela A2 - 1: Descrição do caso de Uso CU02

<b>Nome</b>	<b>CU02: Ocupação de vaga</b>
<b>Actores</b>	<b>Utente</b>
<b>Descrição</b>	O caso de uso começa quando o utente pretende estacionar. Ele insere os dados solicitados: matrícula, tempo desejado de estacionamento e o identificador da vaga existente no local.
<b>Tipo</b>	<b>Essencial</b>
<b>Referência</b>	<b>RF01</b>
<b>Condição inicial</b>	O deve possuir um dispositivo móvel (celular ou computador)

Tabela A2 - 2: Descrição do caso de Uso CU03

<b>Nome</b>	<b>CU03: Introdução do ID da vaga</b>
<b>Actores</b>	<b>Utente</b>
<b>Descrição</b>	O caso de uso inicia quando o utente deseja estacionar. Após inserir a matrícula e o tempo, o utente deve informar o ID do estacionamento, que permite relacionar o veículo ao local exacto da vaga.
<b>Tipo</b>	<b>Essencial</b>
<b>Referência</b>	<b>RF02</b>
<b>Condição inicial</b>	O deve possuir um dispositivo móvel (celular ou computador)

## Capítulo IV – Proposta de Solução

---

Tabela A2 - 3: Descrição do caso de Uso CU04

<b>Nome</b>	<b>CU04: Visualização de pontos de uso sem pagamento</b>
<b>Actores</b>	<b>Funcionário</b>
<b>Descrição</b>	O caso de uso começa quando o funcionário consulta o mapa de alertas, visando identificar vagas ocupadas sem pagamento. O sistema exibe um mapa com pontos destacados, indicando irregularidades.
<b>Tipo</b>	<b>Essencial</b>
<b>Referência</b>	<b>RF04</b>
<b>Condição inicial</b>	O sistema deve estar aberto e o funcionário deve ter permissão.

Tabela A2 - 4: Descrição do caso de Uso CU05

<b>Nome</b>	<b>CU05: Verificação de histórico</b>
<b>Actores</b>	<b>Funcionário de gestão</b>
<b>Descrição</b>	O caso de uso inicia quando o funcionário consulta o histórico de um certo usuário. O sistema mostra registos, incluindo o tempo de permanência, tempo excedido, multas, datas e os locais exactos.
<b>Tipo</b>	<b>Essencial</b>
<b>Referência</b>	<b>RF03</b>
<b>Condição inicial</b>	O sistema deve estar aberto e o funcionário deve ter permissão.

Tabela A2 - 5: Descrição do caso de Uso CU07

<b>Nome</b>	<b>CU07: Notificação de tempo esgotado</b>
<b>Actores</b>	<b>Utente</b>
<b>Descrição</b>	O caso de uso inicia quando o tempo está prestes a acabar. O sistema envia uma notificação ao usuário, alertando sobre o término do tempo. O utente pode pagar novamente ou abandonar o estacionamento.
<b>Tipo</b>	<b>Desejável</b>
<b>Referência</b>	<b>RF03</b>
<b>Condição inicial</b>	O sistema em funcionamento, utente registado e vaga ocupada

## Capítulo IV – Proposta de Solução

---

Tabela A2 - 6: Descrição do caso de Uso CU08

<b>Nome</b>	<b>CU08: Notificação de saída</b>
<b>Actores</b>	<b>Utente</b>
<b>Descrição</b>	O caso de uso inicia quando o veículo deixa o estacionamento. O sistema notifica o utente sobre a saída, o utente podendo reconhecer ou não. Caso não reconheça, pode activar o modo de busca.
<b>Tipo</b>	<b>Desejável</b>
<b>Referência</b>	<b>RF03</b>
<b>Condição inicial</b>	O sistema em funcionamento, utente registado e vaga ocupada

### Anexo 3 – Configuração do programa do microcontrolador

```
programPresentation.ino
1 //função para ler o valor registado pelo sensor ultrassónico
2 long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin)
3 {
4     pinMode(triggerPin, OUTPUT); // Clear the trigger
5     digitalWrite(triggerPin, LOW);
6     delayMicroseconds(2);
7     digitalWrite(triggerPin, HIGH); //activa o pino do trigger
8     delayMicroseconds(10);
9     digitalWrite(triggerPin, LOW);
10    pinMode(echoPin, INPUT);
11    return pulseIn(echoPin, HIGH); //retorna do valor lido
12 }
13
14 //funcao para leitura dos dados dados do sensor de água
15 long readWaterSensorValue(int waterSensorPin)
16 {
17     pinMode(waterSensorPin, INPUT); //activação do pino como entrada
18     int waterLevel = analogRead(waterSensorPin); //calcula do valor
19     return waterLevel; //retorna o valor lido
20 }
```

Figura A3 - 1: Funções que retornam os valores lidos pelos sensores

```
programPresentation.ino
20 }
21
22 void setup() { //ativacao dos pinos para saida ou entrada
23     pinMode(7, OUTPUT);
24     pinMode(3, OUTPUT);
25     Serial.begin(9600);
26 }
27
28 void loop() { /*funcao loop que executa infinitamente chamando
29 as duas funcoes dos sensores*/
30     float distance = 0.01723 * readUltrasonicDistance(10, 9);
31     if (distance <= 35) {
32         digitalWrite(7, HIGH);
33         Serial.println(0+String(distance));
34         delay(1000);
35     } else {
36         digitalWrite(7, LOW);
37         Serial.println(0+String(distance));
38         delay(1000);
39     }
40     //delay(1000);
41     float waterLevel = readWaterSensorValue(A0);
42     if(waterLevel > 500){
43         digitalWrite(3, HIGH);
44         Serial.println(1+String(waterLevel));
45         delay(1000);
46     }else{
47         digitalWrite(3, LOW);
48         Serial.println(1+String(waterLevel));
49         delay(1000);
50     }
51 }
```

Figura A3 - 2: Função para execução infinita das funções de retorno dos valores dos lidos pelos sensores

### Anexo 4 - Código do programa da aplicação de gestão

```
<> index.html # index.css <> menu.html X JS app.js JS menu.js JS server.js ...\appEMME JS
public > appEMME > <> menu.html > html > body > div.principal > div.baixo
  2  <html lang="en">
10  <body>
11    <div class="principal">
12      <h2>Painel de Gestão</h2>
13      <div class="cima">
14        <div class="cimaEsquerda">
15          <div class="h3">Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento</div>
16        </div>
17        <div class="cimaDireita">
18          
19        </div>
20      </div>
21      <div class="baixo">
22        <div class="esquerda">
23          <p></p>
24          <select name="" id="menu" onchange="listar()">
25            <option value="">Menu</option>
26            <option value="">Todos cliente</option>
27            <option value="">Sem multas</option>
28            <option value="">Com multas</option>
29          </select><p>
30          <select name="" id="enviar" onselect="lookUp()">
31            <option value="">Notificação</option>
32            <option value="">Notificar a patrulha</option>
33            <option value="">Notificar utente</option>
34          </select>
35          <div class="clock" id="clock">
36          </div>
37        </div>
38
39        <div class="direita">
40          <div class="visualizador" id="visualizador" ></div>
41          <p id="notes" hidden>*Aut. Block - Autorizar bloqueio</p>
42        </div>
```

Figura A4 - 1: View - Cliente HTTP

```
index.html menu.html JS app.js JS menu.js JS server.js README.txt # m
public > appEMME > JS menu.js > viewAll
1
2 //função assíncrona para dar tempo de entrega dos dados do servidor
3 async function listData() {
4     const response = await fetch('http://localhost:8080/data');//requisição ao servidor
5     const data = await response.json();
6     var point = document.getElementById('menu').selectedIndex
7
8     switch(point){
9         case(0):{
10             }break
11         case(1):{
12             viewAll(data)//função ver todos os registros
13         }break
14         case(2):{
15             viewSpecific(data, 'NO')//função ver os registros específicos
16         }break
17         case(3):{
18             viewSpecific(data, 'Aut. Block')//função ver os registros específicos
19         }
20         default:{}
21     }
22 }
```

Figura A4 - 2: *Controller* – Manipulação de dados

## Anexos

```
index.html menu.html JS app.js JS menu.js JS server.js X README.txt
public > appEMME > JS server.js > parser.on('data') callback
1 //Importação de módulos, definição e inicialização de variáveis
2 const express = require('express');
3 const app = express();//inicialização do servidor express
4 const { SerialPort } = require('serialport');
5 const { ReadlineParser } = require('@serialport/parser-readline');
6 const bodyParser = require('body-parser');
7 const path = require('path');
8 const cors = require('cors');
9 const port = 8080;
10 var secondsUltra = -1, secondsWater = -1, list = [], comment = '',
11 | | | | | countUltra = 0, countWater = 0;
12 var activeUltra = false, activeWater = false;
13 var idCode = ['100', '110'];
14
15 //inicializando porta serial COM5
16 const serialPort = new SerialPort({ path: 'COM5', baudRate: 9600 });
17 app.use(cors());// Serve arquivos estáticos da pasta atual
18 app.use(express.static(path.join(__dirname)));// Middleware para processar JSON
19 app.use(bodyParser.json());
20
21 app.post('/data', (req, res) => { // Rota para receber dados
22 |   const { id, matricula, period, totalTime } = req.body;
23 |   saveData(matricula, id, period, totalTime);
24 |   res.json({ message: comment });
25 | });
```

Figura A4 - 3: Model - Configuração do servidor de aplicação importação de bibliotecas

```
index.html  menu.html  JS app.js  JS menu.js  JS server.js  x  README.txt  # menu.css

public > appEMME > JS server.js > ...
24
25 //Parser para ler dados da porta serial
26 const parser = serialPort.pipe(new ReadlineParser({ delimiter: '\n' }));
27 parser.on('data', function (data) {
28     //Chamada de funções para tratamento dos dados recebido
29     var ultra = parseInt(data[0]);
30     if(ultra == 0){
31         ultrasonicDetection(data);//Chamada caso os dados venham do sensor ultrassónico
32     }else{
33         var water = '';
34         for(i in data){
35             if(i == 0){
36
37             }else{
38                 water += data[i];
39             }
40         }
41         waterDetection(parseFloat(water));//Caso venham do sensor de água, executa esta
42     }
43 }
44 });
45 serialPort.on('open', function() {console.log('Porta serial aberta');});//Porta serial aberta
46 serialPort.on('error', function (err) {console.log('Error: ', err.message);});//Erro ao abrir a porta
47 serialPort.on('close', function() {console.log('Porta serial fechada');});//Quando a porta for fechada
48 app.use(express.static('public'));//Serve os dados de forma estatica aos arquivos no directorio 'public'
49 app.get('/data', (req, res) => {res.json(list)}); //Serve os dados ao cliente
50 app.listen(port, () => { // Iniciar o servidor
51     console.log(`Servidor rodando em http://172.21.25.125:${port}`);
52 });
```

Figura A4 - 4: Configuração do servidor de aplicação para o tratamento do sinal



Anexo 6 - Resultados de testes de funcionamento

The screenshot shows a web browser window with the URL `secure | 192.168.56.1:3000/menu.html`. The page title is "Painel de Gestão" and the header identifies the organization as "Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento" with the logo "epime". On the left, there are two dropdown menus: "Todos cliente" and "Notificação". The main content area is titled "Histórico de ocupações dos clientes" and contains a table with the following data:

Matricula	Id. Espaço	Periodo	Tempo	T. Chegada	T. Saida	T. Resto	Aut. Block	Estado
null	110	null	10	21h19m40s	null	11	NO	Pendente

At the bottom left of the panel, the time is displayed as "21:19'53" and a message reads "\*Aut. Block - Autorizar bloqueio". A "copyRight" watermark is visible at the bottom center.

Figura A6 - 1: Painel mostrando estado 'Pendente'.

The screenshot shows the same web browser window with the URL `: secure | 192.168.56.1:3000/menu.html`. The page title is "Painel de Gestão" and the header is the same as in Figure A6-1. The left dropdown menus are now "Sem multas" and "Notificação". The "Histórico de ocupações dos clientes" table shows a different entry:

Matricula	Id. Espaço	Periodo	Tempo	T. Chegada	T. Saida	T. Resto	Aut. Block	Estado
AJJ-500	110	Diário	15	21h19m40s	null	6	NO	Ocupado

The time at the bottom left is "21:20'48" and the message is "\*Aut. Block - Autorizar bloqueio". The "copyRight" watermark is also present at the bottom center.

Figura A6 - 2: Painel mostrando estado 'Ocupado'.

### Painel de Gestão

Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento



Todos cliente ▾  
Notificação ▾

Matrícula	Id. Espaço	Período	Tempo	T. Chegada	T. Saída	T. Resto	Aut. Block	Estado
AJJ-500	110	Diário	15	21h19m40s	21h21m4s	8	YES	Livre
AJJ-500	100	Semanal	49	21h21m48s	21h22m40s	28	NO	Livre
null	100	null	10	21h23m14s	21h23m22s	7	NO	Livre
null	100	null	10	21h23m24s	null	11	YES	Pendente

21:24'3" \*Aut. Block - Autorizar bloqueio

copyRight

Figura A6 - 3: Painel mostrando ocupações dos espaços

Anexo 7 – Interface do usuário



Figura A7 - 1: Interface do usuário do dispositivo móvel