



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Tema:

**Desenvolvimento de Sistemas de Monitoria Cardíaca Baseados em IoT para
Prevenção de Doenças Cardiovasculares**

Caso de Estudo: Hospital Geral de Mavalane

Autor

Simião António Canze

Supervisor da UEM

Eng.º Ruben Manhiça, MsC.

Maputo, Novembro 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Tema:

**Desenvolvimento de Sistemas de Monitoria Cardíaco Baseados em IoT para
Prevenção de Doenças Cardiovasculares
Caso de Estudo: Hospital Geral de Mavalane**

Autor

Simião António Canze

Supervisor da UEM

Eng.º Ruben Manhiça, MsC.

Maputo, Novembro 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Simião António Canze entregou no dia ___/11/2025, às 03 cópias do seu relatório de Trabalho de Licenciatura com referência _____, intitulado: Desenvolvimento de Sistemas de Monitoria Cardíaco Baseados em IoT para Prevenção de Doenças Cardiovasculares. Caso de Estudo: Hospital Geral de Mavalane

Maputo, ____ de Novembro de 2025

A Chefe da Secretaria do DEEL

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro, sob compromisso de honra, que o presente trabalho é da minha autoria, para fins de culminação do curso. Todo o conteúdo do trabalho apresentado foi desenvolvido com base em pesquisas, investigação do referencial teórico e um caso de estudo. As fontes de informação e referências utilizadas foram devidamente citadas e estão de acordo com as normas de citação e referenciação estabelecidas pela faculdade. Adicionalmente, declaro que este trabalho não foi submetido, no todo ou em parte, em nenhuma outra instituição ou para obtenção de qualquer outro grau académico.

Maputo, ____ de Novembro de 2025

Autor

(Simião António Canze)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a mim mesmo, por sempre acreditar em mim, por todo o esforço e dedicação que dediquei e continuo a dedicar à minha trajetória profissional, por cobrar sempre de mim sem dias de descanso, por nunca desistir, por me entregar completamente para alcançar meus objectivos, mesmo quando as dificuldades se tornam mais evidentes, por tentar, repetidamente, fazer o possível, mesmo que de forma correcta ou incorrecta, e por ser e sempre ter sido autêntico ao longo da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela sabedoria, serenidade e discernimento concedidos ao longo desta trajetória, que tornaram possível a realização deste trabalho.

Aos meus pais, expresso minha mais profunda gratidão pelo apoio incondicional, pelos valores transmitidos e pela confiança depositada em meu potencial. Seu exemplo e incentivo foram fundamentais para que eu alcançasse esta conquista.

Dirijo, também, um agradecimento especial a meu amigo e colega de curso Jorge Cossa, pela parceria constante, pelas trocas de conhecimento e pelo incentivo mútuo, que tornaram esta jornada mais leve e gratificante.

À Universidade Eduardo Mondlane, manifesto reconhecimento pela excelência no ensino, pela estrutura acadêmica e pelas oportunidades de crescimento intelectual e humano que proporcionou durante minha formação.

E por fim, mas não menos importante, ao meu supervisor Eng.º Ruben Manhiça (MsC.), registro minha sincera apreciação pela orientação competente, pela disponibilidade e pelas contribuições inestimáveis que enriqueceram este estudo. Sua liderança e comprometimento serviram de inspiração em todo o processo de pesquisa.

EPÍGRAFE

“O conhecimento é o antídoto do medo.”

Ralph Waldo Emerson (1803-1882)

RESUMO

O presente trabalho teve como objectivo desenvolver um sistema de monitoria cardíaca baseado na Internet das Coisas (IoT) para o Hospital Geral de Mavalane (HGM), com vista à prevenção e acompanhamento de doenças cardiovasculares, através de um estudo exploratório e aplicado que envolveu levantamento de campo, entrevistas com o cardiologista, enfermeiros da Unidade de Cuidados Intensivos (UCI), técnico de Electrocardiograma (ECG) e gestor de manutenção de equipamentos, permitindo compreender a situação actual da monitoria cardíaca e identificar limitações tecnológicas, humanas e logísticas, como escassez de equipamentos, manutenção irregular, sobrecarga do pessoal e fragmentação dos dados clínicos. Com base nessas necessidades, foi desenvolvido um modelo funcional utilizando o sensor AD8232 para captação contínua de sinais ECG, o microcontrolador ESP32 para processamento e conectividade Wi-Fi, o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para comunicação eficiente e a plataforma Ubidots para armazenamento e visualização dos dados em tempo real, incluindo alertas automáticos e geração de relatórios clínicos. A implementação e simulação do protótipo demonstraram consistência funcional, baixo consumo energético, estabilidade na transmissão de dados e viabilidade técnica, evidenciando que a solução é adaptável à realidade do HGM, capaz de reduzir a sobrecarga do único cardiologista, integrar dados clínicos e permitir monitoria remota em tempo real. Os resultados obtidos confirmam que os objectivos específicos foram integralmente atingidos: descrição da situação actual das doenças cardiovasculares e das barreiras socioeconómicas, identificação das soluções de monitoria existentes e suas limitações, desenvolvimento de um modelo funcional baseado em IoT e validação da sua viabilidade técnica, mostrando que a aplicação de tecnologias IoT na saúde em Moçambique representa uma oportunidade concreta para modernizar o sector, aumentar a eficiência clínica, reduzir riscos de complicações cardíacas e promover soluções tecnológicas sustentáveis e adaptadas ao contexto local.

Palavras-chave: IoT, monitoria cardíaca, ECG, Hospital Geral de Mavalane, sensores biomédicos.

ABSTRACT

This study aimed to develop an advanced cardiac monitoring system based on the Internet of Things (IoT), targeting the prevention and follow-up of cardiovascular diseases at the Mavalane General Hospital (HGM) in Mozambique. An exploratory and applied research methodology was adopted, including field surveys, semi-structured interviews with the hospital's cardiologist, ICU nurses, ECG technician, and equipment maintenance manager. The study identified the limitations of current cardiac monitoring practices, such as the scarcity of modern equipment, irregular maintenance, overworked staff, and fragmented clinical data. Based on these findings, a functional IoT-based model was proposed and implemented using the AD8232 ECG sensor, the ESP32 microcontroller, MQTT communication protocol, and the Ubidots cloud platform. The system demonstrated functional consistency, technical feasibility, real-time monitoring capability, low energy consumption, and potential for remote patient management, reducing the workload of the cardiologist and improving clinical data integration. The results indicate that IoT solutions can be effectively applied in Mozambican hospitals, enhancing clinical efficiency, enabling timely decision-making, and supporting the modernization of healthcare services.

Keywords: IoT, cardiac monitoring, ECG, Mavalane General Hospital, biomedical sensors, telemedicine

GLOSSÁRIO DE TERMOS

- AD8232 - Sensor biomédico utilizado para a captação dos sinais elétricos do coração, permitindo a leitura de ECG em tempo real e com baixo custo.
- API (Application Programming Interface / Interface de Programação de Aplicações) - Conjunto de rotinas e protocolos que permite a comunicação entre softwares diferentes, como o *NodeMCU* e a plataforma *Ubidots*.
- Actor (em casos de uso) - Entidade (pessoa, sistema ou dispositivo) que interage com o sistema para atingir um objectivo específico.
- BPM (Batimentos por Minuto) - Unidade de medida que indica a frequência cardíaca de um paciente.
- Dashboard - Painel de controlo gráfico que apresenta dados em tempo real, permitindo monitorização rápida e intuitiva dos sinais vitais.
- Diagrama de Actividades - Representação visual das acções e decisões do sistema, evidenciando fluxos contínuos de monitoria e interação entre componentes.
- Diagrama de Classes - Representação estática das entidades do sistema, seus atributos, métodos e relacionamentos, essencial para a modelagem do *software*.
- Diagrama de Componentes - Representação da arquitetura do sistema, mostrando módulos de *hardware*, *software* e suas interdependências.
- Diagrama de Estados - Representação do comportamento dinâmico do sistema, mostrando os estados dos componentes e suas transições diante de eventos internos ou externos.
- Diagrama de Sequência - Representação temporal da interação entre objectos do sistema, mostrando a ordem das mensagens trocadas para realizar uma funcionalidade.
- ECG (Electrocardiograma) - Registro gráfico da actividade eléctrica do coração, utilizado para diagnosticar arritmias, cardiopatias dilatadas, miocardiopatias hipertensivas e outras condições cardíacas.
- ESP32 / ESP8266 (NodeMCU) - Microcontrolador utilizado para adquirir sinais do sensor, processar dados e enviá-los à nuvem via *Wi-Fi*.

- Firmware – Software embarcado no microcontrolador que controla directamente o funcionamento do *hardware*.
- IoT (Internet of Things / Internet das Coisas) - Conjunto de tecnologias que permitem a conexão de dispositivos físicos à Internet para recolha, transmissão e análise de dados em tempo real.
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) - Protocolo de comunicação leve e eficiente, utilizado em sistemas IoT para troca de mensagens entre dispositivos e servidores.
- Nó (Node) - Dispositivo ou ponto de conexão em uma rede IoT. No sistema, o *NodeMCU* actua como nó central e o sensor AD8232 como nó periférico.
- Nuvem / Cloud - Plataforma digital para armazenamento, processamento e visualização de dados remotamente, permitindo acesso seguro de qualquer local.
- Parâmetros de Alerta - Limites predefinidos de valores fisiológicos que, quando ultrapassados, acionam notificações automáticas para profissionais de saúde.
- Protocolo de Comunicação - Conjunto de regras que determina como os dispositivos trocam informações, garantindo confiabilidade, integridade e segurança dos dados.
- Requisitos Funcionais (RF) - Descrição do que o sistema deve realizar, incluindo funcionalidades principais, como captura de ECG, transmissão de dados e emissão de alertas.
- Requisitos Não Funcionais (RNF) - Restrições sobre o desempenho e operação do sistema, abrangendo segurança, usabilidade, consumo energético e confiabilidade.
- Sensor Biomédico - Dispositivo que detecta sinais fisiológicos do corpo humano, como sinais eléctricos do coração, para monitoria clínica.
- Telemedicina - Prática de prestação de serviços de saúde remotamente, usando tecnologias de informação e comunicação, como sistemas IoT.
- Topologia de Rede em Estrela - Estrutura de rede em que todos os nós periféricos se conectam a um nó central, garantindo gestão centralizada, escalabilidade e confiabilidade.

- Ubidots - Plataforma de IoT em nuvem utilizada para armazenamento, processamento e visualização de dados dos sensores, permitindo *dashboards* interativos e alertas automáticos.
- Wi-Fi - Tecnologia de comunicação sem fio utilizada para conectar dispositivos IoT à Internet.
- Loop Principal (do NodeMCU) - Função do microcontrolador que executa continuamente a aquisição de dados, transmissão e reconexão em caso de falha.
- Reconexão Automática - Mecanismo implementado para restabelecer a conexão do microcontrolador à rede *Wi-Fi* quando ocorre interrupção.
- Visualização em Tempo Real - Capacidade de monitorar os sinais vitais dos pacientes instantaneamente, permitindo decisões rápidas baseadas em dados actualizados.
- Manutenção Preventiva - Conjunto de acções programadas para inspecionar, calibrar e actualizar o sistema, garantindo funcionamento contínuo e redução de falhas inesperadas.
- Eléttodos RA, LA e RL - Pontos de contato utilizados no ECG para captar sinais eléctricos do braço direito (RA), braço esquerdo (LA) e perna direita (RL) do paciente.

ÍNDICE	
DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS.....	II
EPÍGRAFE.....	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
GLOSSÁRIO DE TERMOS	VI
LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS	XIII
INDICE DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABELAS	XVI
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Definição do Problema.....	2
1.3. Objectivos	4
1.3.1. Objectivo Geral.....	4
1.3.2. Objectivos Específicos.....	4
1.4. Metodologia	4
1.4.1. Quanto à natureza	4
1.4.2. Quanto aos objectivos	5
1.4.3. Quanto à abordagem.....	5
1.4.4. Quanto aos procedimentos técnicos.....	6
1.4.5. Quanto às técnicas de colecta e análise de dados.....	7
1.4.6. Actividades Desenvolvidas	7
1.5. Metodologia de Desenvolvimento do Sistema - Modelo em Cascata	9

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1. Contextualização das Doenças Cardiovasculares	12
2.1.1. Epidemiologia Global das DCV.....	13
2.1.2. Epidemiologia das DCV em África e Moçambique	15
2.1.3. Impacto das DCV no Sistema de Saúde.....	16
2.2. Soluções Existentes de Monitoramento Cardíaco	17
2.2.1. Tecnologias Tradicionais de Monitoramento	18
2.2.2. Soluções Digitais e Baseadas em IoT	18
2.2.3. Comparação e Análise de Sistemas Existentes	20
2.3. Internet das Coisas	21
2.3.1. Componentes Fundamentais.....	22
2.3.2. Arquitetura de IoT	23
2.3.3. Aplicação IoT na Detenção de DCV	24
2.4. Benefícios de Sistemas IoT para Monitoria Cardíaca	25
2.4.1. Monitoria em Tempo Real.....	26
2.4.2. Alertas Automáticos.....	27
2.4.3. Apoio à Decisão Clínica.....	27
CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDO E PROPOSTA DE SOLUÇÃO	29
3.1. Hospital Geral de Mavalane.....	29
3.1.1. Missão	29
3.1.2. Visão.....	29
3.1.3. Valores.....	29
3.1.4. Organograma do Hospital Geral de Mavalane.....	30
3.1.5. Localização e Contexto do Hospital.....	30

3.1.6.	Situação Actual e Processo de Recolha de Dados.....	31
3.2.	Resultado das pesquisas	34
3.3.	Proposta de solução	35
3.3.1.	Descrição da Proposta.....	38
CAPÍTULO IX:	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	40
4.1.	Análise e Definição de Requisitos.....	40
4.1.1.	Actividades Principais Desenvolvidas.....	41
4.2.	Projecto de Sistema e Software.....	42
4.2.1.	Arquitectura	42
4.2.2.	Integração das Camadas.....	45
4.2.3.	Modelo de funcionamento.....	45
4.2.4.	Fluxo de Funcionamento do Sistema.....	47
4.2.5.	Diagrama de Classes.....	48
4.2.6.	Diagramas de Estados.....	49
4.2.7.	Casos de Uso	50
4.2.8.	Diagramas de Sequência.....	53
4.2.9.	Diagramas de Actividades	54
4.2.10.	Diagramas de Componentes.....	56
4.2.11.	Diagrama de circuito	57
4.3.	Implementação e Testes de Unidade	59
4.3.1.	Instalação do Arduino IDE	59
4.3.2.	Programação do ESP8266	59
4.3.3.	Código e Métodos.....	60
4.4.	Integração e Teste de Sistema	61

4.4.1. Resultados Obtidos	62
4.5. Operação e Manutenção	63
4.5.1. Plano de Instalação	64
4.5.2. Plano de Manutenção Preventiva	64
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
5.1. Conclusões	65
5.1.1. Constrangimentos.....	67
5.2. Recomendações	68
5.3. Trabalhos Futuros.....	69
Referencias Bibliográficas	70
ANEXOS	A
Anexo 1: Classes principais do sistema	A1.1
Anexo 2: Requisitos funcionais.....	A2.1
Anexo 3: Requisitos não funcionais.....	A3.1
Anexo 4: Plano de Instalação	A4.1
Anexo 5: Plano de manutenção preventiva	A5.1
Anexo 6: Perguntas de entrevista.....	A6.1
Anexo 7: Inquérito.....	A7.1

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

Símbolo	Significado / Unidade	Observações
ECG	Eletrocardiograma	Registro da actividade eléctrica do coração
HR	<i>Heart Rate</i> (Frequência Cardíaca)	Medida em batimentos por minuto (bpm)
V	<i>Volts</i>	Unidade de tensão eléctrica
mV	<i>Milivolts</i>	1/1000 de Volt, utilizado nos sinais ECG
Hz	<i>Hertz</i>	Unidade de frequência, ciclos por segundo
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>	Tecnologia de rede sem fio
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>	Protocolo de comunicação leve usado em IoT
CPU	<i>Central Processing Unit</i>	Unidade de processamento do microcontrolador
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)	Sistema de objectos interconectados via internet
API	<i>Application Programming Interface</i>	Interface de comunicação entre <i>software</i> e plataforma
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>	Formato de dados estruturados utilizado em sistemas IoT
Sigla	Significado	
HGM	Hospital Geral de Mavalane	
UCI	Unidade de Cuidados Intensivos	
AD8232	Sensor de ECG de baixo custo, utilizado para monitoramento cardíaco	
ESP32	Microcontrolador com conectividade <i>Wi-Fi</i> e <i>Bluetooth</i>	
<i>Ubidots</i>	Plataforma de IoT para colecta, armazenamento e visualização de dados	
RF	Requisito Funcional	
RNF	Requisito Não Funcional	
AI	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial)	

Símbolo Significado / Unidade Observações

DCV Doenças Cardiovasculares

MISAU Ministério da Saúde de Moçambique

PPG *Photoplethysmography* (Sensor óptico para monitoria cardíaca)

CSV *Comma Separated Values*, formato de exportação de dados

bpm Batimentos por minuto

DALY *Disability-Adjusted Life Years* (Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade)

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de desenvolvimento em cascata do sistema	11
Figura 2 - Impacto Económico e Social das DCV	17
Figura 3 - Componentes Fundamentais da IoT	23
Figura 4 – Modelo de Arquitectura IoT	23
Figura 5 - Organograma do Hospital Geral de Mavalene.....	30
Figura 6 - Proposta de solução do Sistema de Monitoria Cardíaca IoT	37
Figura 7 - Arquitectura do Sistema de Monitoria Cardíaca Baseado em IoT	43
Figura 8 - Topologia da rede em estrela	47
Figura 9 - Diagrama de Classes.....	48
Figura 10 - Diagramas de Estados.....	50
Figura 11 - Diagrama de Sequência	54
Figura 12 - Diagrama de Actividades	56
Figura 13 - Diagrama de ligação do circuito.....	58
Figura 14 - Instalação da biblioteca do ESP8266	60
Figura 15 - Onda do ECG	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa de mortes por doenças cardiovasculares nas regiões da OMS..	14
Tabela 2 - Prevalência de Factores de Risco para DCV em Moçambique (2021)	16
Tabela 3 - Comparação entre sistemas de monitoramento cardíaco	20
Tabela 4 – Caso de Uso.....	52
Tabela A2 - 1. Apresentação dos requisitos funcionais	A2.1
Tabela A3 - 1. Apresentação dos requisitos não funcionais.....	A3.1
Tabela A4 - 1. Apresentação do plano de instalação	A4.1
Tabela A5 - 1. Apresentação do plano de manutenção preventiva.....	A5.1

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

As Doenças Não Transmissíveis (DNT) representam actualmente um dos maiores desafios de saúde pública, sendo responsáveis por um número significativo de mortes e incapacidades em todo o mundo. De acordo com WHO (2025b), “Organização Mundial da Saúde”, as DNT foram responsáveis por cerca de 43 milhões de mortes em 2021, o que corresponde a 75% das mortes globais não associadas à pandemia.

Entre as DNT, segundo a WHO (2025a), as Doenças Cardiovasculares (DCV) constituem a principal causa de mortalidade, respondendo por cerca de 17 a 20 milhões de óbitos anuais. Em 2022, estimou-se que 19,8 milhões de pessoas morreram por DCV, o equivalente a 32% de todas as mortes globais, das quais 85% resultaram de enfarte agudo do miocárdio e acidente vascular cerebral (AVC). Estes números evidenciam o peso crescente das DCV e a necessidade de estratégias eficazes de prevenção e controlo.

No continente africano, e particularmente em Moçambique, a prevalência das DCV tem vindo a aumentar de forma expressiva. Este crescimento está associado a factores como a urbanização acelerada, mudanças nos hábitos alimentares, redução da actividade física e envelhecimento populacional. Estudos feitos pela WHO (2020), apontam que, entre 2005 e 2015, a taxa de hipertensão arterial no país aumentou de 33,1% para 39%, elevando o risco de complicações cardíacas graves. Estima-se que cerca de 70 mil mortes anuais em Moçambique estejam relacionadas com DNT, sendo o risco de morte prematura por estas doenças de 18% entre os 30 e 70 anos. Este cenário traduz-se em graves implicações para o sistema nacional de saúde, que enfrenta limitações de recursos humanos, tecnológicos e financeiros.

O Hospital Geral de Mavalane (HGM), enquanto unidade sanitária de referência, tem como missão oferecer cuidados de saúde acessíveis e de qualidade, mas enfrenta desafios relacionados com a falta de instrumentos modernos de monitoria e acompanhamento contínuo dos pacientes cardíacos.

Segundo Albahri et al., (2021), a monitoria eficiente das DCV é um componente essencial na prevenção e gestão dessas patologias, uma vez que permite detectar precocemente alterações nos sinais vitais e intervir antes que ocorram complicações graves. A ausência de sistemas de vigilância contínua limita a capacidade de resposta dos profissionais de saúde, contribuindo para diagnósticos tardios e tratamentos menos eficazes.

Neste contexto, o uso de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), apresenta-se como uma oportunidade estratégica para fortalecer os cuidados de saúde. A IoT permite recolher dados fisiológicos em tempo real, enviá-los a plataformas digitais e disponibilizá-los para análise médica remota. Segundo Dong e Yao (2021, citados por Brites & Barbosa, 2022), a pandemia da COVID-19 acelerou a adopção de tecnologias digitais na saúde, demonstrando o potencial do monitoramento remoto e da telemedicina na redução de custos e na melhoria da qualidade assistencial. Assim, a integração de soluções de IoT no contexto hospitalar moçambicano surge como uma resposta tecnológica inovadora aos desafios de acompanhamento e prevenção das DCV. O presente estudo, centrado no desenvolvimento de um sistema de monitoria cardíaca baseado em IoT, propõe-se contribuir para a modernização dos processos clínicos no HGM, reforçando a prevenção, a detecção precoce e o acompanhamento de pacientes com risco cardiovascular. Este esforço representa uma acção alinhada com as metas nacionais e globais de redução da mortalidade por DNT, ao mesmo tempo que promove a utilização sustentável da tecnologia em prol da saúde pública.

1.2. Definição do Problema

As DCV constituem um problema prioritário de saúde pública, responsável por cerca de 32% das mortes a nível mundial, sendo 85% destas causadas por enfarte agudo do miocárdio e AVC (OMS, 2025). Em Moçambique, o aumento da prevalência destas doenças é agravado por factores como o sedentarismo, a alimentação inadequada e o envelhecimento populacional (OMS, 2020).

Contudo, para além do contexto epidemiológico, existem problemas técnicos e operacionais que dificultam o acompanhamento eficaz dos pacientes com risco cardiovascular. Para o desenvolvimento de um sistema de monitoria cardíaca baseado

em IoT de uma solução no Hospital Geral de Mavalane, foram identificadas os seguintes desafios:

- Ausência de sistemas de monitoria contínua e integrada: Os métodos actualmente utilizados baseiam-se em registos manuais e medições pontuais, o que impossibilita a recolha de dados em tempo real e compromete a detecção precoce de alterações nos sinais vitais.
- Limitações tecnológicas e infraestruturais: O acesso a equipamentos avançados é restrito, devido a custos elevados e à falta de soluções adaptadas à realidade local.
- Gestão ineficiente de informação clínica: A inexistência de bases de dados centralizadas e integradas limita a tomada de decisão médica e a coordenação entre equipas de saúde.

Estes constrangimentos dificultam a implementação de um sistema de vigilância e prevenção eficaz, limitando a capacidade do hospital em oferecer um acompanhamento contínuo e personalizado aos pacientes.

Conforme demonstram Bayas Sampedro et al., (2025) e Chooruang & Mangkalakeeree (2016), a integração de tecnologias IoT na saúde pode contribuir para o aumento da eficiência operacional, permitindo colecta contínua de sinais vitais em tempo real, transmissão remota de dados e emissão de alertas automáticos. No entanto, a implementação destas soluções em países em desenvolvimento requer investigação sobre aspectos como conectividade, custo, interoperabilidade e adequação ao contexto local.

Desta forma, o problema que o presente trabalho aborda não é a elevada prevalência das DCV em si, mas a inexistência de um sistema tecnológico eficaz que permita a monitoria cardíaca contínua, remota e integrada no contexto hospitalar moçambicano.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

- Desenvolver um sistema avançado de monitoramento cardíaco baseado em IoT para acompanhamento de pacientes com doenças cardiovasculares no Hospital Geral de Mavalane.

1.3.2. Objectivos Específicos

- Descrever a situação actual das Doenças Cardiovasculares e o seu impacto no contexto global e em Moçambique;
- Identificar as diferentes soluções existentes de monitoramento das Doenças Cardiovasculares;
- Propor um modelo funcional de um sistema de monitoramento cardíaco baseado em IoT, que se adeque ao cenário actual do HGM;
- Implementar um protótipo funcional baseado no modelo proposto de sistema de monitoramento das DCV no HGM.

1.4. Metodologia

Nesta secção, descrever-se-á a metodologia de pesquisa adoptada, seguindo uma abordagem sistemática e estruturada para alcançar os objectivos propostos. A metodologia é classificada de acordo com diferentes aspectos da pesquisa, incluindo natureza, abordagem, objectivos, procedimentos técnicos e técnicas de colecta e análise de dados.

1.4.1. Quanto à natureza

A pesquisa é de natureza aplicada, onde conforme Assis (2009, p. 17), a pesquisa aplicada interessa-se pela aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos. Destina - se a aplicar os conhecimentos científicos para a solução dos mais variados problemas individuais ou coletivos. Concretiza-se por meio das “ciências aplicadas” e “tecnológicas”.

No contexto deste estudo, a pesquisa aplicada foi fundamental, uma vez que visa desenvolver um sistema funcional de monitoramento cardíaco baseado em IoT,

considerando a realidade de Moçambique, o impacto das DCV no país e o cenário global, com aplicabilidade direta no HGM.

1.4.2. Quanto aos objectivos

A pesquisa caracteriza - se como exploratória e descritiva, tendo em vista os objectivos propostos. Conforme Gil (2008, p. 27), a pesquisa exploratória “têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.”. A pesquisa descritiva, de acordo com Assis (2009, p. 18), “visa observar, registrar, analisar, classificar e interpretar os dados sem interferência, sem manipulação do pesquisador. Entre essas pesquisas estão as de opinião, as mercadológicas, os levantamentos sócios económicos e psicossociais, em suma, a maioria das pesquisas desenvolvidas nas Ciências Humanas e Sociais.”.

No presente estudo, a abordagem exploratória foi essencial para identificar os desafios enfrentados pelos profissionais de saúde no monitoramento das Doenças Cardiovasculares e compreender as lacunas existentes nos sistemas tradicionais de monitoramento. A perspectiva descritiva permitiu detalhar os requisitos, funcionalidades e características do sistema de monitoramento cardíaco baseado em IoT, garantindo precisão na análise de dados clínicos e alinhamento com os objectivos da pesquisa.

1.4.3. Quanto à abordagem

A pesquisa adopta uma abordagem mista, combinando elementos qualitativos e quantitativos para garantir uma análise ampla e detalhada do problema estudado. No entanto, conforme Assis (2009, p. 14), na pesquisa quantitativa “a colecta de informações e o tratamento dos dados são caracterizados pelo uso da quantificação, isto é, de técnicas estatísticas (percentagem, média, desvio padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão etc...)”, e a pesquisa qualitativa “preocupa-se em analisar e interpretar os dados em seu conteúdo psicossocial. Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objectivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números.”.

A abordagem qualitativa será utilizada para compreender as percepções, necessidades e desafios enfrentados pelos profissionais de saúde no HGM, identificando barreiras na implementação de tecnologias de monitoramento cardíaco e possíveis soluções adaptadas à realidade local. Já a abordagem quantitativa permitirá analisar dados objectivos sobre a prevalência de doenças cardiovasculares, hipertensão arterial, ocorrência de AVCs e outros indicadores clínicos relevantes, possibilitando avaliar de forma mensurável o impacto do sistema de monitoramento baseado em Internet das Coisas (IoT).

1.4.4. Quanto aos procedimentos técnicos

A condução deste estudo emprega uma série de procedimentos técnicos cuidadosamente planeados para assegurar a colecta precisa de dados, a análise rigorosa e o desenvolvimento eficiente do sistema proposto. Estes procedimentos são fundamentais para garantir a robustez e confiabilidade dos resultados obtidos.

I. Levantamento de Dados

Será realizado um levantamento abrangente de dados, combinando abordagens primárias e secundárias. A colecta de dados primários ocorrerá por meio de entrevistas semiestruturadas com profissionais de saúde do HGM. Os dados secundários serão obtidos por meio de uma revisão bibliográfica aprofundada e análise de dados disponíveis online.

II. Desenvolvimento do Sistema

A implementação do sistema de monitoramento cardíaco IoT seguirá uma abordagem de *design* centrado no usuário. Isso envolverá entrevistas adicionais com profissionais de saúde para identificar requisitos específicos e garantir a usabilidade e eficácia do sistema. Essa abordagem metodológica é embasada nos princípios propostos por Martins, G. A., & Theóphilo, C. R. (2016) em "Metodologia da pesquisa científica para a Administração: guia prático para iniciantes", garantindo a rigorosidade na colecta e análise de dados, bem como a eficácia no desenvolvimento do sistema proposto.

1.4.5. Quanto às técnicas de colecta e análise de dados

As técnicas empregadas para a colecta e análise de dados neste estudo são cuidadosamente seleccionadas, visando uma abordagem abrangente que capture nuances qualitativas e padrões quantitativos relevantes para o desenvolvimento do sistema de monitoramento cardíaco baseado em IoT.

I. Técnicas de Colecta de Dados

- Entrevistas semiestruturadas: Serão conduzidas entrevistas detalhadas e semiestruturadas com profissionais de saúde do HGM. Essas entrevistas permitirão uma compreensão aprofundada da situação actual do monitoramento cardíaco, identificando lacunas e desafios percebidos pelos profissionais.
- Revisões Bibliográficas: Uma revisão bibliográfica abrangente será realizada para contextualizar o estudo, explorando as tecnologias existentes de monitoramento cardíaco baseadas em IoT. Essa técnica contribuirá para uma compreensão aprofundada das soluções já propostas na literatura.
- Análise de Dados Disponíveis Online: A análise de dados disponíveis *online* relacionados ao monitoramento cardíaco baseado em IoT fornecerá *insights* adicionais, considerando implementações práticas, desafios comuns e soluções existentes em ambientes semelhantes.

1.4.6. Actividades Desenvolvidas

No âmbito deste estudo, foram definidas actividades concretas para investigar o problema técnico da monitoria cardíaca no HGM e desenvolver uma solução baseada em IoT. Cada actividade foi planeada para ligar directamente o problema identificado, os objectivos específicos e os resultados esperados.

I. Actividade 1: Levantamento da Situação Actual da Monitorização Cardíaca

Teve como objectivo de mapear os processos existentes, identificar lacunas técnicas e compreender as necessidades dos profissionais de saúde do HGM. Para tal, realizou-se entrevistas semiestruturadas com médicos, enfermeiros e técnicos, abordando a rotina de monitorização de pacientes cardíacos, a frequência de acompanhamento e os desafios enfrentados. Paralelamente, efectuou-se observação directa dos equipamentos e procedimentos utilizados, complementada pela análise de relatórios hospitalares e

dados nacionais sobre Doenças Cardiovasculares. Como resultado, esta actividade permitiu identificar limitações significativas, tais como a falta de monitorização contínua, a dependência de consultas presenciais e a dificuldade de detecção precoce de alterações nos sinais vitais, reforçando assim a necessidade de desenvolver um sistema de monitorização baseado em IoT.

II. Actividade 2: Revisão e Comparação de Tecnologias Existentes

Teve como objectivo avaliar soluções de monitoria cardíaca já implementadas noutros hospitais, identificando funcionalidades úteis e limitações técnicas. Para tal, realizou-se pesquisa bibliográfica de artigos, estudos de caso e relatórios sobre sistemas de monitorização cardíaca baseados em IoT. Analisou-se sensores, equipamentos, *softwares* e interfaces, destacando eficiência, custos e aplicabilidade em contextos com recursos limitados. Como resultado, esta actividade forneceu subsídios técnicos essenciais para o desenvolvimento do modelo funcional, garantindo que o sistema fosse eficaz, adaptável e economicamente viável para o HGM.

III. Actividade 3: Proposta do Modelo Funcional do Sistema de Monitorização Cardíaca

Teve como objectivo desenvolver um modelo funcional capaz de solucionar os problemas identificados no levantamento inicial. Para tal, definiu-se os requisitos funcionais e não funcionais com base nas entrevistas realizadas e na análise tecnológica. Desenhou-se a arquitectura do sistema, incluindo sensores IoT para recolha de sinais vitais, comunicação em tempo real e interface para profissionais de saúde. Implementou-se o protótipo funcional utilizando a metodologia *Waterfall* (Cascata), realizando codificação, testes unitários, integração de módulos e validação preliminar. Como resultado, esta actividade transformou os dados recolhidos e a revisão tecnológica em uma solução prática, permitindo monitorização contínua e remota, emissão de alertas automáticos para eventos críticos e integração eficiente com a rotina hospitalar.

IV. Actividade 4: Testes Práticos e Validação

Teve como objectivo assegurar que o protótipo funcionasse de forma segura, confiável e eficiente no contexto do HGM. Para tal, realizou-se testes com pacientes simulados. Recolheu-se *feedback* da equipa médica para ajustar a interface, os alertas e as

funcionalidades do sistema. Efectuou-se os ajustes finais de forma a compatibilizar o protótipo com os fluxos de trabalho do hospital e os protocolos de segurança clínica. Como resultado, esta actividade validou a eficácia prática do sistema, demonstrando que a IoT melhorou o monitoramento cardíaco, aumentou a precisão diagnóstica e optimizou o uso de recursos hospitalares.

1.5. Metodologia de Desenvolvimento do Sistema - Modelo em Cascata

Para o desenvolvimento do protótipo de monitorização cardíaca baseado em IoT, adoptou-se a metodologia *Waterfall*, que propõe um processo sequencial e sistemático, no qual cada etapa é concluída antes do início da seguinte. Esta abordagem permitiu um planeamento rigoroso, documentação detalhada e controlo do progresso em cada fase do projecto, garantindo a qualidade, segurança e rastreabilidade do sistema desenvolvido.

A metodologia em Cascata “apresentado por Sommerville (2011)” foi escolhida por ser adequada a projectos com requisitos bem definidos e estáveis, permitindo acompanhamento estruturado e documentação detalhada em cada fase. Este modelo mostrou-se particularmente apropriado para contextos hospitalares, como o Hospital Geral de Mavalane, onde a precisão, segurança e cumprimento de protocolos clínicos são essenciais. Adicionalmente, a abordagem linear facilitou a validação das etapas, reduziu erros e retrabalho, e permitiu alinhar as funcionalidades do sistema às necessidades práticas dos profissionais de saúde “apresentado por Pressman (2014)”. Considerou-se ainda que, por se tratar de um conteúdo académico, esta metodologia oferece rigor científico e clareza metodológica, tornando o trabalho passível de avaliação e replicação.

As fases do ciclo de vida do software foram conduzidas da seguinte forma:

I. Análise e definição de requisitos

Foram recolhidos e documentados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema com base em entrevistas semiestruturadas com médicos, enfermeiros e técnicos do HGM, observação directa de equipamentos e procedimentos, bem como análise de relatórios hospitalares e dados nacionais sobre Doenças Cardiovasculares. Identificaram - se serviços essenciais, restrições técnicas, objectivos do sistema e necessidades dos

utilizadores, servindo como especificação detalhada para o desenvolvimento do protótipo.

II. Projecto de sistema e software

Definiu-se a arquitectura geral do sistema, incluindo a estrutura de dados, fluxos de comunicação entre sensores IoT e interface para profissionais de saúde, bem como relacionamentos entre módulos e procedimentos operacionais. O projecto foi documentado detalhadamente, permitindo referência durante a implementação e garantindo alinhamento com os requisitos previamente definidos.

III. Implementação e teste de unidade

Os módulos do sistema foram codificados em linguagem adequada à plataforma escolhida. Cada componente foi testado individualmente para assegurar o correcto funcionamento, detecção precoce de erros e fiabilidade do protótipo antes da integração completa.

IV. Integração e teste de sistema

Após a codificação de todos os módulos, procedeu-se à integração dos componentes e realização de testes globais para verificar a funcionalidade do sistema como um todo, incluindo comunicação entre sensores, interface de monitorização e alertas automáticos. Foram efectuados ajustes finais para corrigir falhas e otimizar a performance do sistema.

V. Operação e manutenção

Concluída a integração, o protótipo foi instalado e testado em ambiente simulado e real. A manutenção envolveu a correcção de erros identificados durante testes práticos, ajustes na interface e adaptação às necessidades emergentes do HGM. Cada etapa do ciclo de vida foi reavaliada, garantindo a fiabilidade e sustentabilidade do sistema.

A adopção do modelo em Cascata permitiu uma abordagem prática, estruturada e confiável, transformando os dados recolhidos e a análise tecnológica num protótipo funcional, seguro e adaptado à realidade do HGM, proporcionando monitoria contínua e remota, alertas automáticos e integração eficiente com a rotina clínica, alinhando inovação tecnológica às necessidades locais e garantindo aplicabilidade prática e académica do projecto.

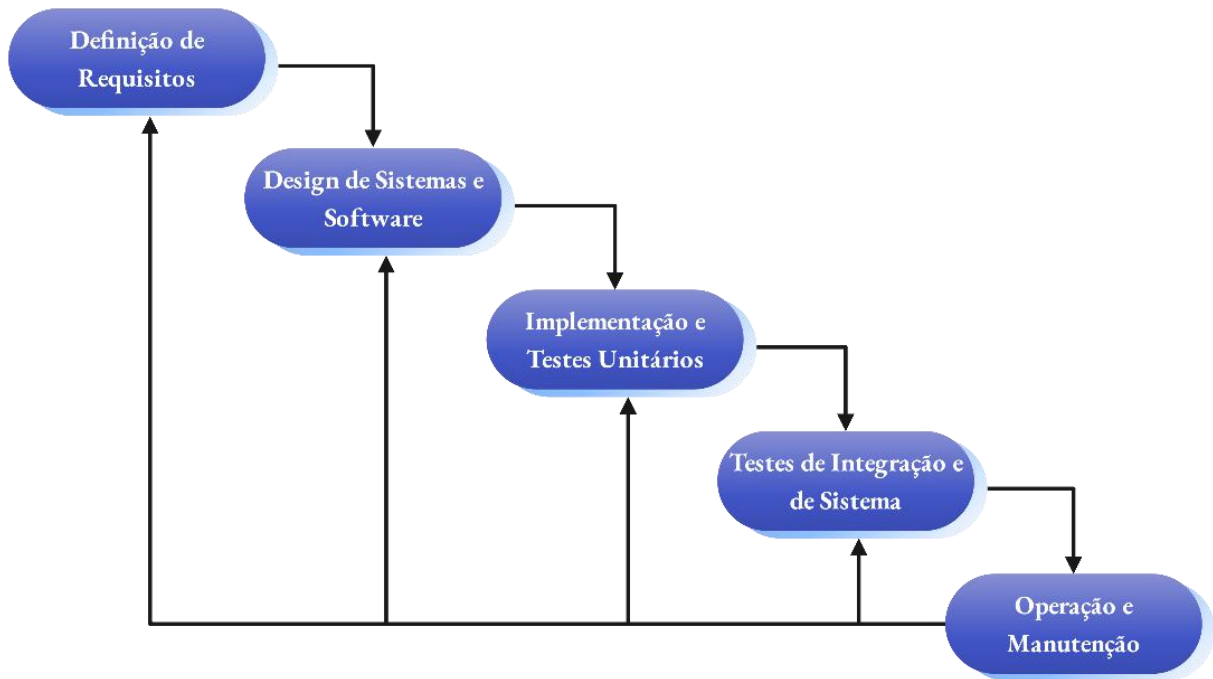


Figura 1 - Modelo de desenvolvimento em cascata do sistema

Fonte: Adaptado de Sommerville (2011)

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Contextualização das Doenças Cardiovasculares

As doenças cardiovasculares configuram-se como um dos maiores desafios da saúde pública mundial, não apenas pelo elevado número de mortes anuais que provocam, mas também pelos efeitos prolongados que deixam nas pessoas, nas famílias e nos sistemas de saúde. Nesse contexto, a WHO (2025a) afirma que o seu peso social e económico é particularmente expressivo porque muitas vezes atingem indivíduos em idade activa, responsáveis pelo sustento familiar, o que acarreta perdas de produtividade e aumento da dependência económica. Para além da mortalidade, as DCV acarretam limitações funcionais graves, como sequelas de acidentes vasculares cerebrais ou insuficiência cardíaca, que reduzem a qualidade de vida e implicam cuidados contínuos e dispendiosos.

Embora os avanços da medicina tenham permitido reduzir a mortalidade por DCV em vários países desenvolvidos, a realidade é bastante diferente em países de baixo e médio rendimento. De acordo com Barry et al., (2025), o peso das doenças não transmissíveis (DNT) na África tem crescido de forma acelerada, refletindo mudanças sociodemográficas e um aumento consistente dos principais factores de risco comportamentais. Entre estes destacam-se o uso de tabaco, consumo nocivo de álcool, inatividade física e o excesso de peso, cuja prevalência varia de forma considerável entre os países, comprometendo a capacidade de resposta dos sistemas de saúde. Além disso, os autores apontam limitações na disponibilidade de medicamentos essenciais e lacunas nas estratégias nacionais de vigilância e redução de risco, o que torna difícil uma resposta pública eficaz e coordenada.

No entanto, por mais que uma grande parte dos factores de risco para as doenças cardiovasculares (DCV) seja evitável ou controlável como hipertensão, dieta inadequada, tabagismo e inatividade física, a carga global dessas doenças continua a aumentar. De acordo com Roth et al. (2020), reportam que a prevalência global de doenças cardiovasculares quase dobrou entre 1990 e 2019, passando de 271 milhões para 523 milhões, acompanhada de um crescimento significativo das mortes e dos anos vividos

com incapacidade. Os autores destacam ainda que muitos dos principais factores de risco são modificáveis, com a pressão arterial elevada figurando como o maior contribuinte global para mortalidade por DCV. Apesar disso, Roth et al. (2020), aponta que há uma necessidade urgente de implementação de políticas e intervenções custo-effectivas para reduzir o risco cardiovascular e melhorar o acompanhamento populacional, sobretudo em países com recursos limitados.

Conforme MISAU (2021), em Moçambique, a situação reflecte o cenário mais amplo. A prevalência da hipertensão arterial, um dos principais factores de risco, é elevada, sobretudo nas zonas urbanas, onde estudos apontam que um em cada três adultos apresenta níveis de pressão arterial acima do recomendado. A urbanização acelerada, associada a mudanças alimentares, redução da actividade física e aumento do consumo de tabaco e álcool, tem contribuído para este quadro. Ao mesmo tempo, os serviços de saúde ainda são insuficientes para responder às necessidades de prevenção, diagnóstico precoce e acompanhamento de longo prazo dos pacientes cardiovasculares. Este contexto evidencia a urgência de integrar abordagens inovadoras, incluindo soluções digitais de monitoria remota, capazes de aliviar a pressão sobre os hospitais e permitir maior controlo das condições crónicas fora do ambiente hospitalar.

2.1.1. Epidemiologia Global das DCV

As doenças cardiovasculares constituem actualmente a principal causa de mortalidade no mundo, representando um enorme desafio para os sistemas de saúde e para a sustentabilidade económica das sociedades. De acordo com a WHO (2025a), estima-se que mais de 18 milhões de pessoas morram todos os anos em consequência de DCV, o que corresponde a cerca de 32% de todas as mortes globais. Estas doenças englobam uma série de condições que afectam o coração e os vasos sanguíneos, incluindo doença arterial coronária, insuficiência cardíaca, acidente vascular cerebral (AVC) e hipertensão. Um dos aspectos mais preocupantes na epidemiologia global das DCV é a transição do seu peso epidemiológico dos países de alto rendimento para os de baixo e médio rendimento. Segundo Tan et al., (2025), em 2021 havia 612 milhões de casos de DCV no mundo, e a mortalidade e os anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (DALY) atribuíveis às DCV continuaram altos, apesar da queda nas taxas padronizadas

de mortalidade e DALY desde 1990. São cerca de 79,5% da carga de DALY por DCV que podem ser atribuídos a 11 factores de risco modificáveis. Essa mudança está relacionada com a urbanização acelerada, envelhecimento populacional e adopção de hábitos de vida menos saudáveis. Além disso, a falta de políticas públicas consistentes de promoção da saúde cardiovascular agrava o problema, criando um cenário em que a maioria dos doentes só acede aos cuidados quando a doença já em estágio avançado. De acordo com Zhang et al., (2021), a taxa padronizada de mortes prematuras por doenças cardiovasculares (entre 30 e 70 anos) foi 35,6% maior em homens do que em mulheres no ano 2000, e essa diferença se manteve estável até 2016. O estudo também mostra que, em países de alta renda, a disparidade de gênero é mais acentuada. Além disso, subtipos de DCV como a doença cardíaca hipertensiva e a reumática apresentam mortalidade relativamente mais elevada em mulheres. Esses achados indicam que as estratégias de prevenção devem levar em conta não apenas factores biológicos, mas também as diferenças estruturais e de capacidade dos sistemas de saúde para responder a essas desigualdades.

Para melhor ilustrar o panorama epidemiológico mundial das DCV, a Tabela 1 apresenta a distribuição estimada de mortes por doenças cardiovasculares por regiões da OMS em 2022. A análise mostra que as regiões da Europa e Sudeste Asiático concentram a maioria dos óbitos, refletindo desigualdades socioeconómicas e fragilidades estruturais na oferta de cuidados de saúde.

Região da OMS	Mortes anuais por DCV (milhões)	Percentagem do total (%)
África	1,3	7%
Américas	3,2	18%
Sudeste Asiático	4,5	25%
Europa	3,9	22%
Mediterrâneo Oriental	2,1	12%
Pacífico Ocidental	3,5	16%
Total Global	18,5	100%

Tabela 1 - Estimativa de mortes por doenças cardiovasculares nas regiões da OMS

Fonte: Adaptado de WHO (2025a)

2.1.2. Epidemiologia das DCV em África e Moçambique

No continente africano, as doenças cardiovasculares (DCV) têm registado um crescimento preocupante ao longo das últimas duas décadas. Embora continuem a coexistir desafios significativos relacionados a doenças infecciosas, as DCV já representam uma parcela substancial da mortalidade por doenças não transmissíveis (DNT). De acordo com a *WHO Regional Office for Africa*. (2024), na Região Africana da Organização Mundial da Saúde, a proporção de mortes atribuídas às DNT aumentou de 24% em 2000 para 37% em 2019.

No contexto africano, a urbanização acelerada está associada a um aumento significativo do risco cardiovascular. Conforme Cappuccio & Miller (2016), essa rápida urbanização tem favorecido o surgimento de doenças isquémicas e distúrbios metabólicos, com a hipertensão figurando como um dos principais factores de risco subjacentes.

Para além desses determinantes, evidencia-se um desafio estrutural relevante, muitos países africanos têm capacidades limitadas para oferecer cuidados preventivos adequados. Estudos envolvendo países de baixo e médio rendimento mostram uma lacuna considerável no uso de terapias essenciais para prevenir DCVs. Como destacam Zhu et al., (2023), os resultados, provenientes de 40 países de baixo e médio rendimento, demonstram uma lacuna grande e persistente no uso de terapias farmacológicas para prevenir doenças cardiovasculares ateroscleróticas.

Em Moçambique, a situação não é diferente. De acordo com o MISAU (2021), no “Relatório Anual do Ministério da Saúde”, as DCV estão entre as principais causas de mortalidade hospitalar, com a hipertensão a afectar cerca de 33% da população adulta nas áreas urbanas. Nisso, SANTOS et al., (2020) menciona que a prevalência tende a ser mais elevada nas cidades como Maputo e Beira, onde o processo de urbanização promove estilos de vida menos saudáveis. Além disso, a coexistência entre HIV/SIDA, tuberculose e DCV agrava ainda mais o quadro, colocando desafios adicionais aos serviços de saúde.

A insuficiência de dados epidemiológicos nacionais sobre DCV representa outro desafio. Muitos casos permanecem subnotificados devido à falta de sistemas de vigilância robustos. Esta realidade compromete o planeamento de políticas públicas eficazes e o

alocamento de recursos adequados. Por isso, torna-se fundamental investir em estudos de base populacional que permitam estimar com maior precisão a magnitude das DCV no país e delinear intervenções específicas.

Factor de Risco	Prevalência (%)
Hipertensão arterial	33
Tabagismo	17
Obesidade/Excesso de peso	21
Diabetes mellitus	11

Tabela 2 - Prevalência de Factores de Risco para DCV em Moçambique (2021)

Fonte: Adaptado de MISAU (2021).

2.1.3. Impacto das DCV no Sistema de Saúde

As DCV exercem uma pressão significativa sobre os sistemas de saúde em todo o mundo, especialmente em países de rendimento baixo e médio, onde os recursos são limitados. Desse modo, a elevada prevalência de indivíduos com múltiplos factores de risco cardiovascular exige respostas mais robustas dos sistemas de saúde. Segundo Diallo et al., (2024), o aumento da prevalência de indivíduos com múltiplos factores de risco cardiovascular cria uma urgência crescente para que os sistemas de saúde em países de baixo e médio rendimento ofereçam cuidados abrangentes para prevenir a morbidade e a mortalidade relacionadas às DCVs.

Segundo MISAU (2021), em Moçambique, os hospitais enfrentam múltiplos desafios na resposta às DCV. A escassez de profissionais especializados em cardiologia, a ausência de unidades coronárias avançadas em grande parte do território e a limitada disponibilidade de medicamentos essenciais constituem barreiras importantes para o diagnóstico precoce e tratamento eficaz. Como resultado, muitos pacientes chegam aos hospitais em estágios avançados da doença, quando as opções terapêuticas são mais caras e menos eficazes.

O impacto das DCV vai além da esfera clínica e institucional. Estas doenças afectam directamente a produtividade nacional, uma vez que atingem indivíduos em idade activa, gerando absentismo laboral, aposentadorias precoces e dependência económica de familiares. Nesse contexto, Roth et al. (2020), indicam que os anos vividos com

incapacidade (YLD) e os anos de vida perdidos por incapacidade (DALY) cresceram de forma substancial, evidenciando que o impacto das DCV não é apenas fatal, mas também altamente incapacitante.

Por fim, é importante salientar que o impacto das DCV nos sistemas de saúde pode ser mitigado com a adoção de soluções tecnológicas inovadoras. Sistemas de monitoria baseados em IoT, por exemplo, permitem a recolha contínua de dados clínicos, a detecção precoce de alterações e o acompanhamento remoto de pacientes, reduzindo a necessidade de hospitalizações frequentes e contribuindo para a otimização de recursos hospitalares.



Figura 2 - Impacto Económico e Social das DCV

Fonte: Elaborado pelo autor com base na MISAU (2021).

2.2. Soluções Existentes de Monitoramento Cardíaco

De acordo com a WHO (2025a), a monitoria cardíaca é um componente fundamental na prevenção e no tratamento de doenças cardiovasculares, permitindo a observação contínua de parâmetros vitais, como a frequência cardíaca, a pressão arterial e a saturação de oxigénio no sangue. Essa monitorização possibilita a detecção precoce de anomalias e contribui significativamente para a redução da mortalidade cardiovascular.

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas ao longo do tempo, podendo ser agrupadas em sistemas tradicionais de monitoramento e soluções digitais baseadas em Internet das Coisas (IoT).

2.2.1. Tecnologias Tradicionais de Monitoramento

Os métodos tradicionais de monitoramento cardíaco são amplamente utilizados em ambientes hospitalares e de diagnóstico clínico. Entre os principais dispositivos encontram-se a eletrocardiograma (ECG), os monitores cardíacos hospitalares e os dispositivos *Holter*, os quais desempenham papel crucial na detecção de irregularidades cardíacas.

De acordo com a MISAU (2021), os monitores cardíacos hospitalares oferecem vigilância contínua em pacientes internados, mas o seu uso é restrito a unidades de cuidados intensivos (UCI) e enfermarias especializadas. O seu custo elevado, complexidade de operação e necessidade de manutenção técnica limitam a disponibilidade desses equipamentos em hospitais públicos de países em desenvolvimento, como Moçambique. Entretanto, Ribeiro (2019) descreve que a monitorização ambulatorial por ECG, incluindo o *Holter* de 24 a 48 horas, é eficaz na detecção de arritmias e na correlação de sintomas intermitentes. No entanto, os dispositivos *Holter* ainda exigem análise posterior dos dados por profissionais de saúde e não oferecem alertas em tempo real. Essa limitação reduz a eficácia do monitoramento preventivo, especialmente em pacientes com risco elevado de eventos cardíacos súbitos.

2.2.2. Soluções Digitais e Baseadas em IoT

Com o avanço das tecnologias digitais e o crescimento da Internet das Coisas (IoT), surgiram novas soluções capazes de ultrapassar as limitações dos sistemas tradicionais. Estas soluções permitem a recolha automática, transmissão e análise em tempo real de dados fisiológicos, possibilitando o acompanhamento remoto e contínuo de pacientes.

De acordo com Cuevas-Chávez et al., (2023), sistemas de monitoramento cardíaco baseados em IoT integram sensores biomédicos, microcontroladores, módulos de comunicação sem fio (como *Wi-Fi*, *Bluetooth* ou *GSM*) e plataformas em nuvem para armazenamento e processamento de dados. Esses dispositivos podem ser incorporados em *wearables*, como pulseiras inteligentes, relógios ou cintas torácicas, ou integrados em sistemas domésticos de telemonitoramento, permitindo acompanhamento remoto contínuo de sinais cardíacos.

Um exemplo de aplicação é o sistema desenvolvido por Bayas Sampedro et al., (2025), que implementa uma plataforma de monitorização cardiovascular baseada em dispositivos IoT integrados via MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). O modelo utiliza sensores biomédicos conectados a microcontroladores para captar sinais cardíacos e transmiti-los em tempo real para uma infraestrutura web construída em arquitetura de microserviços. A solução reduz de forma significativa o tempo de resposta em situações de anomalias cardíacas, além de melhorar a precisão e a continuidade do acompanhamento clínico, sendo capaz de processar até 22.132 solicitações, com picos de 440 requisições/s e suporte a 5.000 usuários simultâneos.

De forma semelhante, o exemplo de um sistema desenvolvido por Chooruang & Mangkalakeeree (2016), que utiliza sensores de batimento cardíaco acoplados a microcontroladores Arduino/ESP8266 e comunicação via MQTT para transmitir dados em tempo real a uma plataforma *web*. O modelo demonstrou que a transmissão contínua de sinais cardíacos pode reduzir o tempo de resposta em casos de anomalias e permitir acompanhamento remoto eficiente, destacando seu potencial para uso em ambientes clínicos e domiciliares.

Além disso, empresas como *Philips*, *Medtronic* e *GE Healthcare* já disponibilizam soluções comerciais de telemonitoramento cardíaco, baseadas em IoT e conectadas a plataformas de saúde digital. No entanto, o alto custo e a dependência de infraestruturas de comunicação avançadas ainda representam barreiras à sua implementação em países de baixo rendimento.

No contexto africano, alguns projectos-piloto têm sido implementados com resultados promissores. Por exemplo, conforme *AFRICA HEALTH TECH* (2024) o sistema *CardioTrack*, introduzido em Gana e Quênia, utiliza dispositivos vestíveis de baixo custo para monitoramento remoto de pacientes hipertensos e pós-cirúrgicos, transmitindo dados para centros de saúde regionais através de redes móveis. Essas iniciativas demonstram a viabilidade técnica e social da adoção de sistemas IoT na monitoria cardíaca em ambientes com recursos limitados.

2.2.3. Comparação e Análise de Sistemas Existentes

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os principais sistemas de monitoramento cardíaco, considerando variáveis como ambiente de utilização, modo de recolha de dados, conectividade, tempo de resposta e custo.

Da análise comparativa, verifica-se que os sistemas baseados em IoT oferecem maior flexibilidade, acessibilidade e capacidade de resposta, especialmente em ambientes com restrições de recursos, como os hospitais moçambicanos. Além disso, a possibilidade de integrar algoritmos de análise preditiva e inteligência artificial amplia o potencial destas soluções para prevenção de eventos cardiovasculares graves e gestão eficiente de pacientes crónicos. Por conseguinte, a adopção de sistemas de monitoramento cardíaco baseados em IoT representa uma alternativa promissora e sustentável para melhorar a qualidade do diagnóstico e a eficácia dos cuidados cardiovasculares no Hospital Geral de Mavalane e em contextos semelhantes.

Tipo de Sistema	Ambiente de Utilização	Colecta de Dados	Conectividade	Tempo de Resposta	Custo Estimado	Limitações
ECG Tradicional	Hospitalar	Manual e episódica	Não possui	Não em tempo real	Alto	Não portátil, dependente de operador
Holter	Ambulatorial	Contínua (24 - 48h)	Não possui	Pós - procedimento	Médio	Sem alertas em tempo real
Monitor Hospitalar	Cuidados Intensivos	Contínua	Rede local	Em tempo real	Muito alto	Restrito ao hospital
Sistema IoT	Hospitalar/ Domiciliar	Contínua e automática	Wi-Fi / MQTT / GSM / Bluetooth	Em tempo real	Baixo a médio	Requer microcontrolador e sensores; limitado pelo alcance da rede e a precisão depende do sensor

Tabela 3 - Comparação entre sistemas de monitoramento cardíaco

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Bayas Sampedro et al., (2025) e Chooruang & Mangkalakeeree (2016)

2.3. Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) representa uma nova fase da conectividade tecnológica, na qual, de acordo com Magrani (2018), não apenas computadores e dispositivos digitais estão interligados, mas também objectos do cotidiano. Esses objectos são equipados com sensores e actuadores, capazes de capturar informações do ambiente e transmiti-las para plataformas de processamento em tempo real, permitindo a tomada de decisões automatizadas ou assistidas. A integração entre os mundos físico e digital tem transformado diversos sectores, incluindo saúde, transporte, indústria e agricultura, promovendo maior eficiência operacional, monitoramento contínuo e otimização de recursos.

Conforme Al-Fetaihi et al., (2022), no sector da saúde, a IoT tem particular relevância para o monitoramento remoto de pacientes, permitindo a recolha contínua de dados vitais e o acompanhamento de condições crónicas, como as doenças cardiovasculares. Com sensores integrados em dispositivos vestíveis, é possível registar sinais fisiológicos importantes, como frequência cardíaca, pressão arterial e saturação de oxigénio, transmitindo essas informações de forma imediata para médicos e equipas hospitalares. A IoT contribui igualmente para a automatização de processos clínicos e administrativos. De acordo com Santos et al., (s.d.), ao integrar dados recolhidos pelos sensores em sistemas de gestão hospitalar, os profissionais de saúde podem tomar decisões baseadas em evidências, priorizar casos urgentes e otimizar recursos. Além disso, a análise destes dados por algoritmos de inteligência artificial permite identificar padrões e tendências que poderiam passar despercebidos em monitoramentos tradicionais. Assim, a IoT não só amplia a capacidade de monitoramento, como também melhora a qualidade do cuidado prestado.

Por fim, a evolução tecnológica da IoT depende de avanços em miniaturização electrónica, protocolos de comunicação e computação em nuvem. A combinação destas tecnologias permite criar ecossistemas inteligentes, interligando sensores, actuadores, redes de comunicação e plataformas de processamento. Isto cria oportunidades para soluções inovadoras e escaláveis na saúde, contribuindo para a prevenção, diagnóstico e gestão de doenças crónicas em contextos hospitalares e domiciliários.

2.3.1. Componentes Fundamentais

A IoT pode ser compreendida como um conjunto integrado de tecnologias que trabalham em sinergia para conectar objectos físicos ao mundo digital. Segundo Santos et al., (s.d), entre os seus principais componentes destacam-se identificação, sensores/actuadores, comunicação, computação, serviços e semântica, sendo cada um crucial para a eficiência e fiabilidade dos sistemas inteligentes.

A identificação é fundamental para assegurar que cada objecto conectado seja único, permitindo rastreio e integração com sistemas de informação. Tecnologias como RFID, NFC e endereçamento IP são usadas para garantir que os objectos possam ser localizados, monitorizados e geridos de forma segura, criando a base para qualquer aplicação de IoT.

No entanto, segundo Al-Fetaihi et al., (2022), os sensores e actuadores captam informações do ambiente ou do estado físico do objecto. Em sistemas de monitoramento cardíaco, por exemplo, sensores registam frequência cardíaca, pressão arterial e saturação de oxigénio, enquanto actuadores podem gerar alertas ou acionar dispositivos médicos em resposta a eventos críticos. A precisão e rapidez destes componentes influencia directamente a qualidade do sistema.

A camada de comunicação conecta sensores, actuadores e sistemas de processamento, usando tecnologias como *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *ZigBee*, *LoRaWAN* e 4G/5G. A escolha da tecnologia impacta factores como alcance, consumo de energia e latência, sendo crítica para sistemas que exigem monitoramento em tempo real. Já a computação envolve microcontroladores e processadores que executam algoritmos locais ou distribuem dados para a nuvem, permitindo análises rápidas e decisões automáticas.

Por fim, Santos et al., (s.d) afirma que os serviços e a semântica garantem a agregação e interpretação dos dados. Serviços de identificação, agregação, colaboração e ubiquidade transformam dados em informações úteis, enquanto a semântica permite extrair conhecimento relevante, apoiando decisões clínicas e estratégicas.



Figura 3 - Componentes Fundamentais da IoT

2.3.2. Arquitetura de IoT

A arquitetura de um sistema IoT é organizada em camadas, permitindo modularidade, escalabilidade e fiabilidade. Cada camada desempenha funções específicas, garantindo que o fluxo de dados do sensor até à interface do utilizador seja seguro, eficiente e fiável (Santos et al., s.d).



Figura 4 – Modelo de Arquitetura IoT

Fonte: Santos et al., (s.d.)

Conforme Al-Fetaihi et al., (2022), a Camada de Percepção recolhe informações do paciente através de sensores biomédicos. No monitoramento cardíaco, sensores registam sinais vitais como ECG, frequência cardíaca e pressão arterial. Esta camada converte sinais fisiológicos em dados digitais, permitindo o processamento posterior. Afirma ainda o autor, que a camada de comunicação assegura a transmissão dos dados para *gateways*, servidores ou nuvens. Tecnologias como *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *ZigBee* e

redes móveis são utilizadas para garantir conectividade contínua, baixa latência e consumo eficiente de energia. Esta camada é crítica para monitoramento remoto em tempo real. Por fim, apresenta a Camada de Aplicação é responsável pelo armazenamento, análise e interpretação dos dados. Processamento em nuvem permite detectar anomalias cardíacas, gerar alertas automáticos e fornecer suporte à decisão clínica. A camada de aplicação disponibiliza os dados para médicos, enfermeiros e pacientes através de aplicações móveis, *dashboards* e interfaces web.

2.3.3. Aplicação IoT na Detecção de DCV

Segundo Islam et al., (2015), a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na saúde é cada vez mais abrangente, permitindo monitoramento contínuo, detecção precoce de doenças e apoio à decisão clínica. No caso das Doenças Cardiovasculares, a IoT possibilita o acompanhamento em tempo real do estado de saúde do paciente, através de sensores biomédicos, plataformas de análise de dados e sistemas de comunicação conectados à Internet. Entre as principais aplicações, destacam-se:

- Monitoria de sinais vitais em tempo real: Sensores vestíveis, como relógios inteligentes, *patches* ou dispositivos implantáveis, recolhem informações sobre frequência cardíaca, eletrocardiograma (ECG), pressão arterial e saturação de oxigénio. Estes dados são enviados automaticamente para servidores na nuvem, permitindo aos médicos monitorar continuamente o estado do paciente e identificar alterações no ritmo cardíaco ou pressão arterial que possam indicar risco de arritmias, enfartes ou insuficiência cardíaca (Borgia, 2014).
- Detecção precoce de arritmias e eventos cardíacos: Sistemas IoT equipados com algoritmos de Inteligência Artificial analisam os sinais recebidos em tempo real. Caso seja detectado algum padrão irregular ou anómalo, o sistema gera alertas automáticos para o paciente, familiares e equipa médica, permitindo intervenção imediata antes que ocorram complicações graves (Perera et al., 2014; Sicari et al., 2015).
- Suporte à decisão clínica: As plataformas IoT não apenas registam dados, mas transformam informações em *insights* clínicos. *Dashboards* e aplicações móveis exibem históricos, tendências e previsões, ajudando médicos a ajustar

tratamentos, recomendar mudanças no estilo de vida ou prescrever medicações de forma personalizada. Este suporte à decisão reduz hospitalizações desnecessárias e melhora a gestão de pacientes com risco elevado (Al-Fetaihi et al., 2022).

- Monitoria remoto e contínuo: Em contextos com acesso limitado a hospitais, a IoT permite acompanhamento à distância. Pacientes com insuficiência cardíaca ou pós-infarto podem permanecer em casa enquanto os sensores transmitem dados em tempo real para os profissionais de saúde, aumentando a segurança, reduzindo custos e melhorando a qualidade de vida. Além disso, alertas automáticos para situações de emergência permitem respostas rápidas, minimizando complicações e riscos (Islam et al., 2015).
- Integração com outros sistemas de saúde: A IoT facilita a interoperabilidade entre dispositivos e sistemas hospitalares, integrando registos electrónicos de saúde (EMR) e bases de dados clínicas. Isso permite análises mais completas e precisas, favorecendo decisões baseadas em dados e promovendo uma abordagem mais proativa na prevenção e gestão das DCV (Santos et al., s.d.; Borgia, 2014).

AS aplicações do IoT na Detecção de DCV demonstram que a IoT não é apenas uma ferramenta de recolha de dados, mas sim um sistema abrangente de monitoria, prevenção e gestão de DCV, oferecendo benefícios tanto para pacientes quanto para profissionais de saúde.

2.4. Benefícios de Sistemas IoT para Monitoria Cardíaca

A aplicação de sistemas IoT na monitoria cardíaca oferece vantagens significativas para pacientes, profissionais de saúde e instituições médicas. De acordo com Al-Fetaihi et al., (2022), a integração de sensores vestíveis, algoritmos inteligentes e plataformas de comunicação permite recolher, processar e analisar dados em tempo real, promovendo uma abordagem preventiva e personalizada no cuidado cardiovascular. Estes sistemas contribuem para reduzir complicações, otimizar recursos hospitalares e melhorar a qualidade de vida dos pacientes. Além disso, os dados recolhidos permitem análises epidemiológicas mais precisas e a implementação de políticas de saúde mais eficazes.

Os benefícios podem ser organizados em três categorias principais: monitoria em tempo real, alertas automáticos e apoio à decisão clínica. Cada uma destas funções actua de forma complementar, garantindo que o paciente seja acompanhado de forma contínua e segura, enquanto os profissionais de saúde recebem informações precisas e oportunas para intervir quando necessário. Menciona Sicari et al., (2015), que o uso da IoT torna o cuidado cardiovascular mais proativo, reduzindo riscos e aumentando a eficiência do sistema de saúde.

Por fim, os sistemas IoT para monitoria cardíaca representam uma ferramenta de transformação na medicina, alinhando a prevenção, diagnóstico e tratamento numa abordagem centrada no paciente. O contínuo avanço da miniaturização de sensores e da inteligência artificial promete expandir ainda mais os benefícios, permitindo monitoria personalizada, análise preditiva e integração com outros sistemas de saúde, tornando os cuidados cardiovasculares mais eficazes e acessíveis.

2.4.1. Monitoria em Tempo Real

A monitoria em tempo real é um dos principais benefícios da IoT no cuidado cardíaco. Sensores vestíveis capturam sinais fisiológicos como ECG, frequência cardíaca, pressão arterial e saturação de oxigénio, transmitindo esses dados instantaneamente para plataformas de processamento em nuvem. Esta transmissão contínua permite que profissionais de saúde acompanhem o estado do paciente a qualquer momento, independentemente da sua localização geográfica (Islam et al., 2015).

Conforme Sicari et al., (2015), a monitoria contínua reduz o tempo de reacção em situações críticas, como arritmias ou hipertensão súbita. Ao detectar alterações no ritmo cardíaco ou na pressão arterial em tempo real, os sistemas IoT permitem intervenções imediatas, prevenindo complicações graves e potencialmente salvando vidas.

Outro benefício mencionado por Borgia (2014), é a criação de históricos detalhados de sinais vitais, que ajudam os médicos a analisar padrões e tendências ao longo do tempo. Isso permite ajustes personalizados no tratamento e recomendações mais precisas sobre estilo de vida, medicação e acompanhamento clínico, aumentando a eficácia do cuidado cardiovascular.

2.4.2. Alertas Automáticos

Os sistemas IoT podem gerar alertas automáticos quando parâmetros críticos do paciente ultrapassam limites pré-definidos. Por exemplo, se a frequência cardíaca atingir níveis perigosos ou ocorrer uma arritmia, o sistema envia notificações imediatas para o paciente, familiares e equipa médica (Islam et al., 2015).

De acordo com Sicari et al., (2015), os alertas permitem intervenções rápidas, reduzindo o risco de complicações graves e hospitalizações. Além disso, melhoram a segurança do paciente em ambientes domésticos, permitindo que cuidados médicos sejam acionados sem atrasos, mesmo à distância.

No entanto, Borgia (2014) afirma que os alertas automáticos também ajudam na gestão eficiente de recursos hospitalares. Profissionais de saúde podem priorizar intervenções baseadas na gravidade dos eventos, garantindo que pacientes em situação crítica recebam atenção imediata. Isso torna o sistema mais eficaz e reduz custos operacionais. Nesse contexto, Al-Fetaihi et al., (2022) afirma que a personalização dos alertas, baseada em histórico do paciente, preferências clínicas e algoritmos de inteligência artificial, aumenta a precisão das notificações e evita alarmes falsos. Esta abordagem contribui para um cuidado mais seguro, confiável e centrado no paciente.

2.4.3. Apoio à Decisão Clínica

Menciona Sicari et al., (2015), que o apoio à decisão clínica é uma função avançada dos sistemas IoT, que transforma dados brutos em informações úteis para o cuidado do paciente. Plataformas analíticas processam os sinais vitais, geram relatórios de tendências e indicam padrões de risco, ajudando os médicos a tomar decisões informadas. Por sua vez, afirma Islam et al., (2015), que essas tem a função que permite intervenções personalizadas, como ajuste de medicação, recomendações de exercícios ou mudanças no regime alimentar, com base no estado real e histórico do paciente. A análise preditiva possibilita a antecipação de eventos cardíacos, aumentando a eficácia do tratamento.

O apoio à decisão clínica também é integrado com sistemas de telemedicina, permitindo consultas remotas e compartilhamento de informações em tempo real. Isso é

especialmente relevante em regiões com acesso limitado a hospitais ou especialistas, promovendo equidade no cuidado à saúde (Borgia, 2014).

Além disso, a utilização de inteligência artificial e *machine learning* em sistemas IoT permite aprendizado contínuo a partir de dados acumulados, tornando as recomendações cada vez mais precisas e confiáveis, fortalecendo o cuidado preventivo e reduzindo complicações (Al-Fetaihi et al., 2022).

CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDO E PROPOSTA DE SOLUÇÃO

3.1. Hospital Geral de Mavalane

O Hospital Geral de Mavalane foi construído em 1948 designado como Hospital de Lepra com 48 camas, ao longo do tempo, isto é, após ao período das nacionalizações pôs a independência foi modificado para conter mais serviços de várias especialidades a nível Secundário. O hospital ocupa cerca de 4 ha num terreno de 6,0 ha, desta área apenas 15% comporta as edificações, cerca de 5,5% de ruas pavimentadas e 5% espaços de estacionamento.

3.1.1. Missão

Prestar atendimento de cuidados de saúde com qualidade, através de boas práticas e humanização a população da Área de Saúde de Mavalane – Direcção de Saúde da Cidade de Maputo.

3.1.2. Visão

Tornar o Hospital Geral de Mavalane, unidade de referência em qualidade assistencial para os níveis inferiores/primários e garantir a devida qualidade na referência dos doentes aos níveis superiores, níveis quaternários.

3.1.3. Valores

- Ética – (Princípios que motivam a disciplina ou o comportamento humano, bons valores);
- Valorização do Profissional – aumento do valor em algo (estima e premiação), em virtude de suas qualidades intrínsecas;
- Trabalho de Equipe – esforço em comum, luta conjunta de actividades produtivas ou criativas que os Funcionários ou Agentes do Estado exercem para atingir um determinado fim. Conjunto de profissionais que se dedicam a realização de um mesmo propósito ou trabalho;
- Integridade – união de todas as partes que formam um todo;

- Responsabilidade e transparência – nitidez, clareza e obrigação de responder por acção própria ou de outros.

3.1.4. Organograma do Hospital Geral de Mavalane

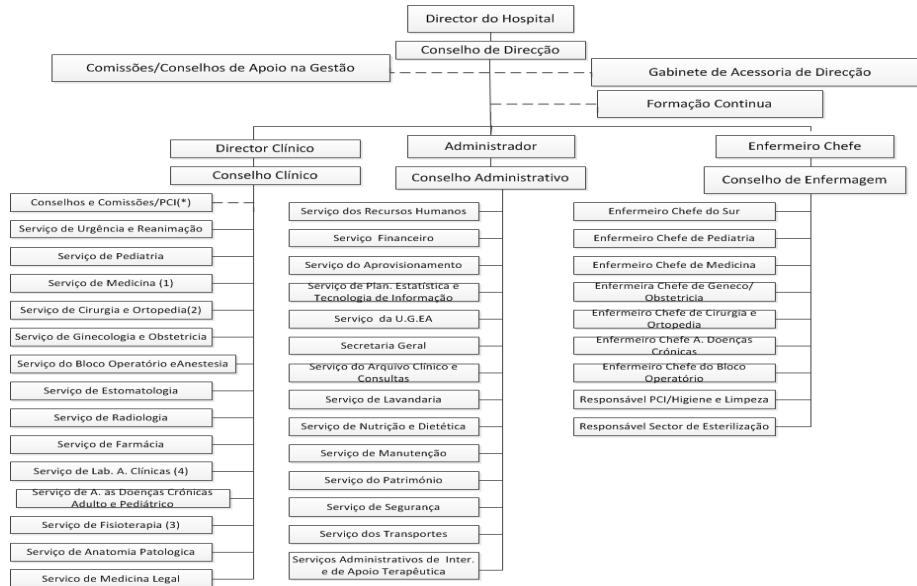


Figura 5 - Organograma do Hospital Geral de Mavalane

3.1.5. Localização e Contexto do Hospital

O Hospital Geral de Mavalane (HGM) é uma das principais unidades de referência da cidade de Maputo, localizada em uma zona de elevada densidade populacional, atendendo tanto áreas urbanas como periurbanas. O hospital oferece serviços de emergência, consultas externas, internamento, e cuidados especializados em diversas áreas médicas, incluindo cardiologia, obstetrícia e pediatria. A localização estratégica do HGM torna-o um ponto central para intervenções inovadoras na área da saúde, dado que atende milhares de pacientes diariamente.

Além da relevância geográfica, o HGM enfrenta desafios típicos de hospitais públicos em Moçambique, como a sobrecarga de pacientes e a limitação de recursos tecnológicos e humanos. A população atendida apresenta um perfil epidemiológico marcado pela elevada prevalência de doenças crónicas, incluindo hipertensão arterial, diabetes e doenças cardiovasculares, refletindo padrões similares aos de outras regiões urbanas do país. Esta situação evidencia a necessidade de soluções que aumentem a eficiência

do hospital e melhorem a monitoria de pacientes críticos, especialmente aqueles com doenças cardiovasculares.

O contexto social e económico também influencia directamente a operação do HGM. Muitos pacientes dependem exclusivamente do sistema público de saúde, sendo incapazes de arcar com custos de exames avançados ou medicamentos especializados. Isso significa que o hospital precisa otimizar os recursos disponíveis, utilizando tecnologias acessíveis e escaláveis, capazes de monitorar pacientes de forma contínua e fornecer informações confiáveis aos profissionais de saúde.

A implementação de soluções digitais, como sistemas de monitoria cardíaca baseados em Internet das Coisas (IoT), pode transformar significativamente a gestão de cuidados no HGM. Ao conectar sensores biomédicos a plataformas digitais, é possível monitorar sinais vitais em tempo real, reduzir erros humanos e fornecer dados essenciais para decisões clínicas rápidas. Tal inovação poderia representar um avanço importante na saúde pública moçambicana, sobretudo em cidades densamente povoadas como Maputo.

3.1.6. Situação Actual e Processo de Recolha de Dados

A monitoria cardíaca no Hospital Geral de Mavalane enfrenta actualmente grandes limitações, quer em termos de tecnologia, quer em termos de pessoal qualificado. Para compreender a real situação e identificar os principais desafios e oportunidades, foi realizada uma pesquisa de natureza qualitativa, através de entrevistas semiestruturadas e observação directa nos serviços hospitalares.

A recolha de dados decorreu durante o mês de Julho de 2025, mediante autorização da Direcção do hospital. As entrevistas foram conduzidas junto de diferentes actores institucionais, um médico cardiologista, dois enfermeiros da Unidade de Cuidados Intensivos (UCI), um técnico de ECG e um gestor hospitalar da área de manutenção de equipamentos médicos. Cada entrevista teve uma duração média de 25 minutos e foi orientada por um protocolo de entrevista elaborado de acordo com os objectivos específicos do estudo.

As questões abordaram essencialmente:

- O estado actual dos equipamentos de monitoria cardíaca e o seu funcionamento;
- As limitações encontradas pelos profissionais no diagnóstico e acompanhamento de doentes cardíacos;
- As percepções sobre a introdução de tecnologias baseadas em IoT;
- As funcionalidades consideradas essenciais para um modelo de sistema de monitoria adaptado à realidade do HGM.

A observação directa complementou as entrevistas, permitindo compreender o funcionamento real dos serviços de cardiologia, urgência e UCI, bem como os procedimentos de registo e controlo dos sinais vitais dos pacientes.

Os resultados desta fase indicaram que o HGM dispõe de recursos tecnológicos limitados. O electrocardiograma é o exame mais frequentemente utilizado, sendo executado em formato digital e em papel. Contudo, a sua utilização é frequentemente afectada pela falta de consumíveis e pela ausência de manutenção regular. Verificou-se igualmente que o hospital conta com apenas um médico cardiologista, o que aumenta a sobrecarga de trabalho e compromete o acompanhamento contínuo dos pacientes.

Os enfermeiros da UCI relataram que apenas alguns leitos dispõem de monitores multiparamétricos, sendo comum a necessidade de deslocar o mesmo equipamento entre pacientes conforme a gravidade dos casos. Um enfermeiro afirmou: “Temos poucos monitores. Quando um doente melhora, desligamos o monitor e usamos noutro caso mais grave.” Esta realidade demonstra as dificuldades operacionais que impedem a monitoria contínua de todos os doentes.

Além disso, verificou-se uma fragmentação significativa dos dados clínicos. O cardiologista do hospital destacou: “Um ECG pode estar impresso e arquivado em papel, outro está no computador da enfermaria sem ligação à rede. Isso dificulta acompanhar a evolução do paciente.” Esta falta de integração tecnológica torna o processo de análise clínica moroso e susceptível a erros.

I. Desafios e Constrangimentos

O HGM enfrenta diversos desafios na monitoria cardíaca, que podem ser divididos em tecnológicos, humanos e financeiros.

- Tecnologia limitada: Falta de equipamentos avançados, manutenção irregular e ausência de sensores ou sistemas de monitoria contínua.
- Recursos humanos: Escassez de cardiologistas, técnicos de ECG e enfermeiros especializados, que compromete a eficiência do atendimento.
- Financeiro e logístico: Insumos básicos como papel para ECG e medicamentos essenciais muitas vezes não estão disponíveis; além disso, grande parte dos pacientes não pode custear exames sofisticados.

Esses constrangimentos resultam em diagnósticos tardios e monitoria incompleta, aumentando a mortalidade associada às doenças cardiovasculares. Por exemplo, muitas arritmias ou insuficiências cardíacas só são detectadas quando já se encontram em estado avançado, dificultando intervenções médicas eficazes.

Outro desafio crítico é a integração de dados. Actualmente, os resultados dos exames e monitoria não são centralizados em plataformas digitais, o que limita a análise contínua e a tomada de decisão baseada em evidências. Isto aumenta o risco de erro clínico e reduz a capacidade do hospital de responder rapidamente a emergências cardíacas.

II. A Necessidade de Soluções Inovadoras

Diante das limitações observadas, torna-se evidente a necessidade de introdução de soluções tecnológicas inovadoras que respondam à realidade operacional do HGM e melhorem a qualidade dos cuidados prestados. Os profissionais entrevistados manifestaram interesse em sistemas que permitam monitoria contínua e em tempo real, emitindo alertas automáticos em caso de anomalias nos sinais vitais.

As soluções propostas devem basear-se na IoT, integrando sensores biomédicos, plataformas digitais e mecanismos de análise de dados na nuvem. Esta abordagem permitirá recolher, armazenar e processar informações vitais de forma contínua, reduzindo o risco de falhas humanas e permitindo uma resposta clínica mais rápida.

De acordo com os entrevistados, um sistema deste tipo teria de ser simples, robusto e adaptável às condições do hospital, sem exigir infraestruturas complexas ou altos custos de manutenção. As principais funcionalidades esperadas incluem: monitoria remota dos pacientes, visualização em tempo real dos parâmetros vitais, alarmes automáticos para situações críticas e geração de relatórios de acompanhamento.

A introdução de soluções digitais inovadoras no HGM poderá, assim, contribuir significativamente para a redução da mortalidade por doenças cardiovasculares, melhorar a eficiência operacional e permitir uma gestão clínica baseada em evidências, além de criar oportunidades para a formação e capacitação contínua dos profissionais de saúde.

3.2. Resultado das pesquisas

As pesquisas realizadas no Hospital Geral de Mavalene permitiram identificar de forma detalhada o panorama actual das doenças cardiovasculares e a capacidade de monitoria cardíaca no hospital. Através de entrevistas com profissionais de saúde e revisão bibliográfica, foi possível mapear tanto os desafios existentes como as oportunidades para a introdução de soluções inovadoras baseadas em tecnologia IoT.

Um dos resultados mais significativos refere-se à elevada prevalência das doenças cardiovasculares no HGM. Os dados qualitativos indicam que a hipertensão arterial, cardiopatias dilatadas, miocardiopatias hipertensivas e arritmias representam a maior parte dos casos atendidos. A população atendida pelo hospital é predominantemente urbana, mas apresenta barreiras socioeconômicas significativas, que dificultam o acesso a diagnósticos precoces e tratamentos adequados. Este cenário reflete a necessidade urgente de intervenções que permitam monitoria contínua e eficiente dos pacientes, prevenindo complicações graves.

Outro resultado importante é a limitação dos equipamentos disponíveis para monitoria cardíaca. Apesar da existência de eletrocardiogramas, ecocardiografias e monitores de UTI, estes são insuficientes para cobrir todos os pacientes, sendo utilizados principalmente em situações críticas. As entrevistas revelaram:

- Falta de manutenção e insumos, como papel para ECG;
- Escassez de equipamentos avançados, como sistemas de ressonância magnética e tomografia cardíaca;
- Limitação de recursos humanos especializados, incluindo cardiologistas, técnicos de ECG e enfermeiros capacitados;
- Baixa integração dos dados, dificultando análise contínua e suporte à decisão clínica.

A pesquisa também revelou uma abertura institucional para a implementação de soluções digitais inovadoras. A direcção do hospital demonstrou interesse em tecnologias que possam otimizar a monitoria cardíaca e reduzir a mortalidade associada às doenças cardiovasculares. A viabilidade de implementação de sistemas IoT foi destacada, considerando a necessidade de integração com os recursos existentes e a capacitação do pessoal. Este resultado reforça a pertinência de projectos que envolvam sensores biomédicos, plataformas de análise de dados em nuvem e alertas automáticos, adaptados à realidade do HGM.

Por fim, os resultados indicam que a introdução de soluções inovadoras para monitoria cardíaca pode trazer benefícios significativos, tais como:

- Monitoria em tempo real de sinais vitais;
- Alertas automáticos para situações críticas;
- Apoio à decisão clínica baseada em dados confiáveis;
- Redução de sobrecarga hospitalar e otimização dos recursos existentes;
- Criação de histórico de pacientes para análises epidemiológicas e planeamento de políticas de saúde.

3.3. Proposta de solução

A proposta de solução para o Hospital Geral de Mavalene consiste na implementação de um Sistema de Monitoria Cardíaca baseado em IoT, utilizando sensores biomédicos, microcontroladores e plataformas de nuvem para acompanhamento remoto. Esta solução visa colmatar as limitações actuais da monitoria cardíaca, incluindo a escassez de equipamentos avançados, dificuldade no acompanhamento contínuo e restrições nos recursos humanos e financeiros. O sistema permitirá que os pacientes, sobretudo aqueles com risco de doenças cardiovasculares, sejam monitorizados de forma segura e eficiente, sem necessidade de estarem permanentemente internados.

- Objectivo principal: Garantir monitoria cardíaca em tempo real, possibilitando a detecção precoce de arritmias, alterações da frequência cardíaca ou outros sinais de risco.

- Cobertura: Abrange pacientes internados e em consultas externas, aumentando a capacidade de atendimento do hospital sem sobrecarregar os recursos existentes.
- Acessibilidade: Permite que médicos e enfermeiros acompanhem os dados remotamente, através de *dashboards* acessíveis em *smartphones*, tablets ou computadores.

O sistema proposto integra *hardware* e *software* de baixo custo, garantindo facilidade de implementação e manutenção. O sensor AD8232 captura os sinais eléctricos do coração e envia para o microcontrolador ESP32 ou ESP8266, que processa os dados e transmite para a nuvem via *Wi-Fi*. A plataforma *Ubidots* funciona como repositório central de dados, oferecendo visualização gráfica e alertas automáticos em caso de eventos críticos, como alterações súbitas no ritmo cardíaco ou picos de frequência.

- Hardware necessário:
 - Sensor AD8232 ECG (captura dos sinais cardíacos)
 - Microcontrolador ESP32/ESP8266 (processamento e transmissão de dados)
 - Eléctrodos e cabos (conexão com o paciente)
 - Fonte de energia estável ou bateria portátil
- Software e plataforma:
 - *Ubidots* (armazenamento e processamento na nuvem)
 - *Dashboards* para visualização remota
 - Alertas automáticos configuráveis

A solução é concebida para ser modular, escalável e adaptável às necessidades futuras do hospital. Inicialmente, pode atender pacientes em unidades críticas e consultas externas, e futuramente integrar sensores adicionais, como medição de pressão arterial, saturação de oxigénio e temperatura corporal. Esta escalabilidade garante que o sistema possa evoluir conforme os recursos do hospital aumentem e novas tecnologias se tornem disponíveis.

- Modularidade: Cada unidade de monitoria pode funcionar de forma independente ou conectada a uma rede central.

- Escalabilidade: Permite adicionar novos sensores, pacientes e funcionalidades sem necessidade de substituir o sistema principal.
- Integração futura: Possibilidade de vincular com prontuários eletrônicos e outros sistemas hospitalares digitais.

Além disso, a proposta enfatiza a segurança e fiabilidade dos dados. Os dados transmitidos do paciente são criptografados, garantindo confidencialidade e integridade, enquanto o armazenamento na nuvem possibilita *backup* e acesso histórico seguro. Isto é essencial para apoiar decisões clínicas, gerar relatórios detalhados e reduzir erros humanos decorrentes de monitoria manual ou registos incompletos.

- Segurança: Criptografia na transmissão e armazenamento de dados.
- Fiabilidade: Funcionamento contínuo mesmo em caso de pequenas interrupções de rede.
- Apoio à decisão clínica: Dados históricos permitem análise de tendências, prevenindo complicações.

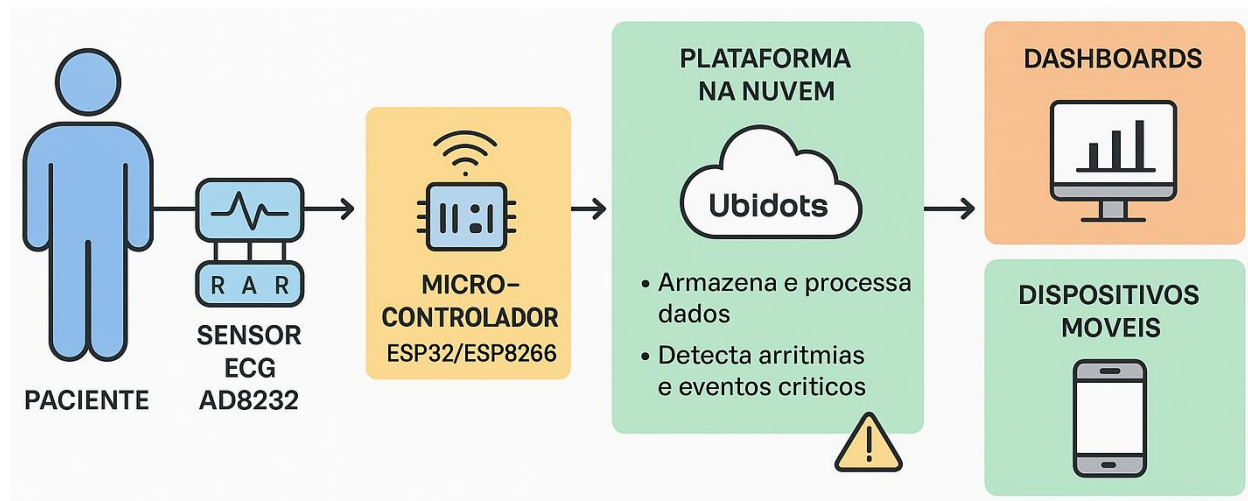


Figura 6 - Proposta de solução do Sistema de Monitoria Cardíaca IoT

Fonte: Elaborado pelo Autor

A proposta de solução transforma a monitoria cardíaca no HGM num sistema inteligente, eficiente e acessível, alinhado com práticas modernas de saúde digital, garantindo maior segurança para os pacientes, eficiência para os profissionais de saúde e otimização de recursos hospitalares.

3.3.1. Descrição da Proposta

A proposta consiste na implementação de um sistema de monitoria cardíaca em tempo real baseado em IoT, que visa melhorar o acompanhamento de pacientes com doenças cardiovasculares no Hospital Geral de Mavalene. O sistema integra sensores biomédicos, microcontroladores, plataformas de nuvem e interfaces de visualização, criando uma solução contínua e acessível para pacientes hospitalizados ou em acompanhamento domiciliar. A escolha de dispositivos como o AD8232 e os microcontroladores ESP32/ESP8266 permite uma captura de sinais vitais de alta precisão, incluindo ECG, frequência cardíaca e padrões de arritmia, transmitidos automaticamente para análise em tempo real.

O funcionamento do sistema é estruturado em camadas bem definidas, garantindo confiabilidade, escalabilidade e segurança dos dados:

- Camada de Sensoriamento: os sensores ECG captam os sinais elétricos do coração, convertendo-os em sinais digitais. As ligações aos membros do paciente (RA, LA, RL) asseguram uma medição correta e consistente.
- Camada de Comunicação: os dados digitais são transmitidos via *Wi-Fi* ou redes móveis para a nuvem, utilizando protocolos como MQTT, que garantem baixa latência e alta fiabilidade.
- Camada de Processamento: os dados recebidos são armazenados e analisados na plataforma *Ubidots*, que processa o ECG em tempo real, detecta padrões anormais e gera alertas automáticos.
- Camada de Aplicação: os profissionais de saúde podem visualizar os sinais em *dashboards* intuitivos, acessíveis via computadores ou dispositivos móveis, possibilitando monitoria remota e suporte à decisão clínica.
- Camada de Segurança: todos os dados sensíveis são criptografados, com autenticação de acesso para médicos e enfermeiros, garantindo conformidade com normas de privacidade e confidencialidade.

A proposta também contempla interfaces e funcionalidades de monitoria avançadas, capazes de apoiar tanto o paciente quanto a equipa médica:

- *Dashboards* interativos que exibem gráficos de ECG em tempo real e histórico de medições;
- Alertas automáticos configuráveis para detecção de arritmias, bradicardia, taquicardia ou outros sinais críticos;
- Registro contínuo de dados clínicos, permitindo análise de tendências e suporte a decisões médicas;
- Possibilidade de integração com sistemas hospitalares existentes para complementar o acompanhamento tradicional.

Além disso, o sistema foi projetado com modularidade e escalabilidade, permitindo expansão para múltiplos pacientes simultaneamente, adição de novos sensores (como pressão arterial ou oxímetro de pulso), e integração futura com inteligência artificial para análise preditiva de eventos cardíacos. A proposta prevê também treinamento para profissionais de saúde, garantindo correcta instalação dos sensores, interpretação dos dados e resposta rápida a alertas críticos, tornando o sistema não apenas uma ferramenta tecnológica, mas também um suporte estratégico à gestão clínica no HGM.

CAPÍTULO IX: DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O desenvolvimento do protótipo do Sistema de Monitoria Cardíaca Baseado em IoT foi conduzido seguindo a metodologia *Waterfall* (Cascata), um modelo clássico de desenvolvimento de software que pressupõe o avanço sequencial entre as fases. Eles adoptaram este modelo por proporcionar organização, rastreabilidade e controlo rigoroso sobre o progresso do projecto. Assim, cada fase foi concluída e validada antes que a seguinte fosse iniciada, assegurando coerência entre os objectivos definidos e os resultados alcançados.

Segundo Sommerville (2007), o modelo em cascata é composto por cinco fases principais: análise e definição de requisitos, projecto de sistema e *software*, implementação e teste de unidade, integração e teste de sistema, e operação e manutenção. No contexto deste trabalho, todas essas fases foram aplicadas à concepção do protótipo, desde o levantamento das necessidades até à validação final. O processo foi realizado de forma sistemática, tendo como foco principal a monitoria remota e contínua dos sinais cardíacos dos pacientes do Hospital Geral de Mavalane (HGM).

4.1. Análise e Definição de Requisitos

Os requisitos de um sistema correspondem às descrições detalhadas dos serviços, funções fornecidas e restrições operacionais do sistema. Contudo Sommerville (2011) agrupa os requisitos de sistema em duas categorias:

- Requisitos funcionais (RF): definem o que o sistema deve ser capaz de fazer;
- Requisitos não funcionais (RNF): são restrições sobre as funções e serviços oferecidos pelo sistema;

Além dessa classificação, outros tipos de requisitos também são frequentemente considerados no processo de engenharia de *software*:

- Requisitos de negócios: Os requisitos do negócio são requisitos de alto nível que explicam as necessidades de execução de um ou mais projectos do negócio. Este projecto tem como objectivo a redução das perdas agrícolas que se fazem sentir nos campos de produção agrícola cuja causa são as doenças em plantas.

- Requisitos de usuário: “São declarações, em linguagem natural e também em diagramas sobre as funções que o sistema deve fornecer e as restrições sob as quais deve operar” (Pressman, 2011). Para representar o que será realizado dentro do sistema, pode-se recorrer ao diagrama de casos de uso. O diagrama de casos de uso, define somente o que existe fora do sistema (actor) e o que deve ser realizado pelo sistema (casos de uso).

Nesta fase, procedeu-se à identificação e especificação dos requisitos do sistema de monitoria cardíaca, considerando as necessidades dos profissionais de saúde do Hospital Geral de Mavalane. Foram realizadas observações e entrevistas com técnicos do hospital, de modo a compreender o contexto clínico, as limitações actuais e as expectativas em relação ao novo sistema.

O objectivo principal desta fase foi recolher e documentar todas as funcionalidades e restrições necessárias para o correcto funcionamento do protótipo, tanto no ponto de vista técnico quanto operacional.

4.1.1. Actividades Principais Desenvolvidas

- Levantamento de requisitos funcionais relacionados à captação, transmissão e visualização dos sinais cardíacos.
- Identificação de requisitos não funcionais, como desempenho, segurança e usabilidade.
- Análise de ambiente, avaliando as condições de conectividade à Internet e disponibilidade de energia eléctrica no HGM.
- Documentação dos resultados, criando uma base sólida para o projecto de *software e hardware*.

A especificação detalhada dos requisitos funcionais e não funcionais encontra-se apresentada nos Anexos Requisitos Funcionais e Requisitos Não Funcionais, respectivamente, que descrevem de forma estruturada os requisitos identificados, sua prioridade e critérios de aceitação.

4.2. Projecto de Sistema e Software

Após termos concluído a análise dos requisitos, passámos à fase de projecto do sistema e *software*, onde estabelecemos a arquitectura geral e os detalhes de implementação da solução. Nessa fase, nós delineámos as estruturas de dados, os fluxos de informação e as interacções entre os diferentes módulos do sistema.

Optámos por uma arquitectura modular, o que permitiu que cada componente funcionasse de forma independente, mas ao mesmo tempo integrada. A estrutura baseou-se no uso do microcontrolador NodeMCU (ESP8266), responsável pela comunicação *Wi-Fi*, e do sensor AD8232, encarregado da captação dos sinais cardíacos. Esses dados foram transmitidos para a plataforma *Ubidots*, onde foram processados e visualizados através de uma interface *web*.

Durante o projecto, elaborámos representações gráficas do sistema, incluindo diagramas de blocos e fluxos de dados, de modo a visualizar as interacções entre *hardware* e *software*. Também definimos os protocolos de comunicação, sendo o MQTT escolhido pela sua leveza e eficiência na transmissão de dados em sistemas IoT. Por fim, nós concebemos a estrutura de base de dados, responsável por armazenar o histórico de medições e perfis dos pacientes.

4.2.1. Arquitectura

A arquitectura foi concebida com base em três camadas principais: camada de sensoriamento, camada de comunicação e camada de aplicação, assegurando um fluxo ordenado e bidireccional de dados, desde a recolha do sinal cardíaco até à sua visualização numa plataforma *web*. Ao longo desta concepção, nós considerámos factores como o consumo energético, a segurança dos dados, a latência de transmissão e a facilidade de integração com outros sistemas hospitalares.

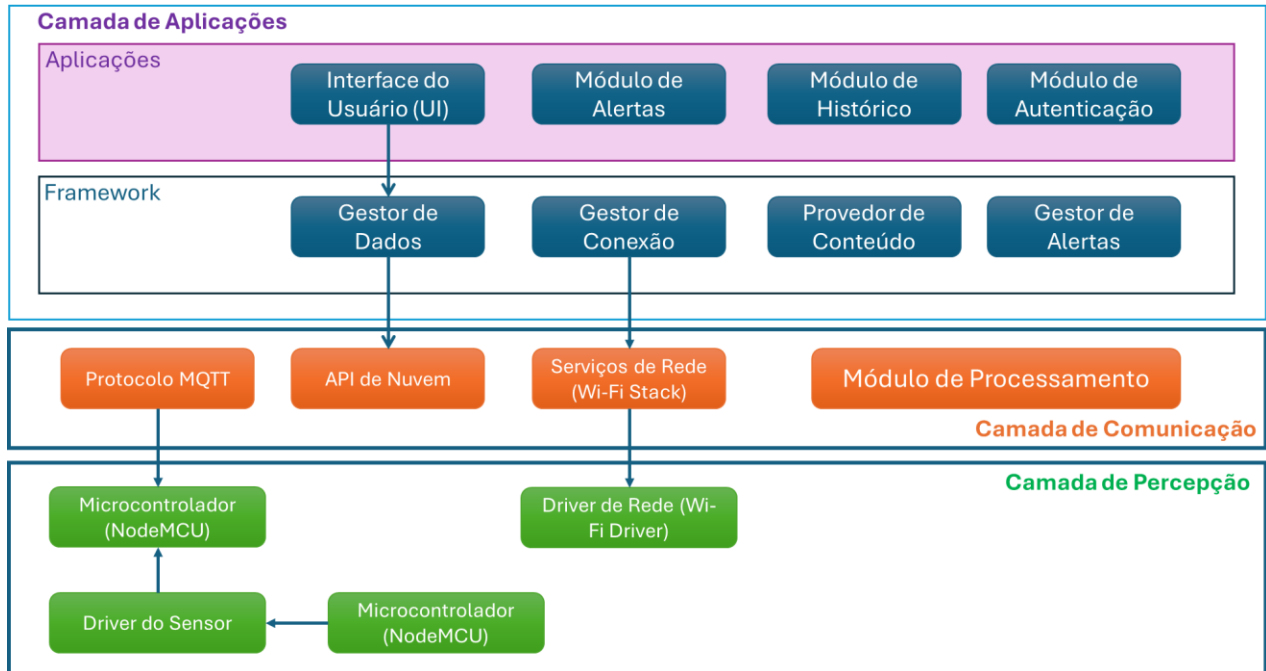


Figura 7 - Arquitectura do Sistema de Monitoria Cardíaca Baseado em IoT

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2.1.1. Camada de Percepção

Nesta camada, integrámos os sensores biomédicos responsáveis pela recolha dos sinais eléctricos do coração. Utilizámos o sensor AD8232, que converteu os sinais analógicos do corpo humano em dados digitais, permitindo a leitura precisa do ECG (Electrocardiograma).

O sensor foi conectado ao microcontrolador NodeMCU (ESP8266), que executou a função de aquisição e pré-processamento dos dados. Este dispositivo filtrou ruídos e preparou os sinais para envio à camada seguinte. A escolha do NodeMCU foi motivada pela sua capacidade de conexão *Wi-Fi*, baixo custo e compatibilidade com várias plataformas IoT.

Componentes Principais:

- Sensor cardíaco AD8232;
- Microcontrolador ESP8266 (NodeMCU);
- Cabos de ligação e alimentação USB;
- Fonte de energia portátil (bateria Li-ion).

4.2.1.2. Camada de Comunicação

Após a recolha dos sinais, os dados foram transmitidos via *Wi-Fi* para a nuvem através do protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Escolhemos este protocolo por ser leve, eficiente e amplamente usado em sistemas IoT, o que reduziu o consumo de banda e energia.

Nesta camada, o ESP8266 actuou como cliente MQTT, enviando os pacotes de dados para o servidor *Ubidots*, que funcionou como broker e centralizou as informações. Esta estrutura permitiu-nos garantir conectividade contínua e baixa latência nas comunicações, mesmo em ambientes hospitalares com rede instável.

Tecnologias Utilizadas:

- Protocolo MQTT;
- Rede Wi-Fi 2.4 GHz;
- Plataforma de nuvem *Ubidots*;
- Encriptação TLS/SSL para segurança dos dados transmitidos.

4.2.1.3. Camada de Aplicação

A camada de aplicação foi responsável pela análise, visualização e gestão dos dados cardíacos recebidos. Nós implementámos um painel de controlo *web* hospedado na plataforma *Ubidots*, que apresentou os valores do ECG, batimentos por minuto (BPM) e alertas automáticos em caso de anomalias.

O profissional de saúde pôde aceder ao sistema a partir de qualquer dispositivo conectado à Internet, utilizando credenciais seguras. Além disso, o sistema armazenou o histórico das medições, permitindo comparações entre sessões e acompanhamento da evolução clínica do paciente.

Funcionalidades Principais:

- Visualização em tempo real dos sinais cardíacos;
- Emissão de alertas automáticos (sonoros e visuais);
- Armazenamento histórico de medições;
- Acesso remoto e seguro;
- Gestão de utilizadores e permissões.

4.2.2. Integração das Camadas

As três camadas funcionaram de forma integrada e sincronizada, garantindo um fluxo de dados contínuo e confiável. O sensor recolheu os sinais cardíacos, o microcontrolador processou e enviou para a nuvem, e a aplicação *web* apresentou os resultados de forma acessível e interpretável.

O sistema foi desenhado para permitir escalabilidade, possibilitando a adição de novos sensores (ex.: oxímetro, temperatura corporal, pressão arterial) e a integração futura com sistemas hospitalares electrónicos (HIS).

4.2.3. Modelo de funcionamento

O modelo funcional proposto para o Sistema de Monitoria Cardíaca Baseado em IoT representa a estrutura lógica e operacional que orientou o desenvolvimento do protótipo. Este modelo descreve de forma sistemática o fluxo de informação entre os diferentes componentes do sistema, evidenciando a interação entre os dispositivos físicos (sensor AD8232 e microcontrolador NodeMCU ESP8266) e os serviços digitais (plataforma *Ubidots* e interface *web* de visualização).

Concebido de acordo com o paradigma da Internet das Coisas (IoT), o modelo funcional foi estruturado numa arquitetura modular, composta por três camadas principais: camada de aquisição de dados, camada de processamento e transmissão, e camada de visualização e análise. Cada uma destas camadas desempenha um papel específico no processo de recolha, tratamento e apresentação das informações cardíacas em tempo real.

Durante o desenvolvimento do protótipo, o modelo funcional foi materializado através de uma comunicação contínua e bidirecional entre os módulos do sistema. O sensor AD8232 efectuou a captação dos sinais eléctricos do coração do utilizador, convertendo-os em impulsos analógicos. Estes sinais foram processados pelo microcontrolador NodeMCU ESP8266, que realizou a conversão analógico-digital e o envio seguro dos dados para a plataforma em nuvem *Ubidots*. Nesta plataforma, os dados foram armazenados e exibidos num *dashboard* interativo, permitindo aos profissionais de saúde o acesso remoto e em tempo real às medições de ECG a partir de qualquer dispositivo com ligação à Internet.

O modelo funcional, portanto, traduz-se num esquema integrado de monitoria cardíaca, capaz de assegurar colecta automática de dados, transmissão eficiente, análise instantânea e visualização intuitiva, reforçando o carácter preventivo e a utilidade prática da solução proposta.

I. Estrutura da rede

A estrutura de rede do sistema que desenvolvemos apresenta uma topologia em estrela, a qual foi escolhida por garantir uma comunicação eficiente, centralizada e de fácil manutenção. Numa rede em estrela, todos os nós de sensores estão interligados a um nó central ou *gateway*, que no nosso caso, é representado pelo microcontrolador ESP8266. Este *gateway* actua como o ponto de comunicação principal, estabelecendo a ligação entre os sensores de aquisição de dados e a plataforma de monitoria em nuvem.

No contexto do sistema de monitoria cardíaca, o sensor AD8232 desempenhou o papel de nó periférico responsável pela recolha dos sinais eléctricos cardíacos, enquanto o ESP8266 serviu como o nó central de processamento e transmissão. Assim, todos os dados provenientes do sensor foram encaminhados directamente para o ESP8266, que, por sua vez, processou e enviou as informações para o servidor remoto da plataforma *Ubidots*, através da rede *Wi-Fi* e do protocolo MQTT. Assim, a topologia em estrela adoptada trouxe diversas vantagens, entre as quais destacamos:

- Gestão centralizada: todas as comunicações são controladas pelo *gateway*, o que simplifica a manutenção e o diagnóstico de falhas.
- Escalabilidade: novos sensores podem ser adicionados à rede sem comprometer o desempenho geral.
- Confiabilidade: uma falha num sensor individual não compromete o funcionamento dos demais nós.
- Baixo custo de implementação: a comunicação baseada em *Wi-Fi* e MQTT reduz a necessidade de cablagem e infraestrutura complexa.

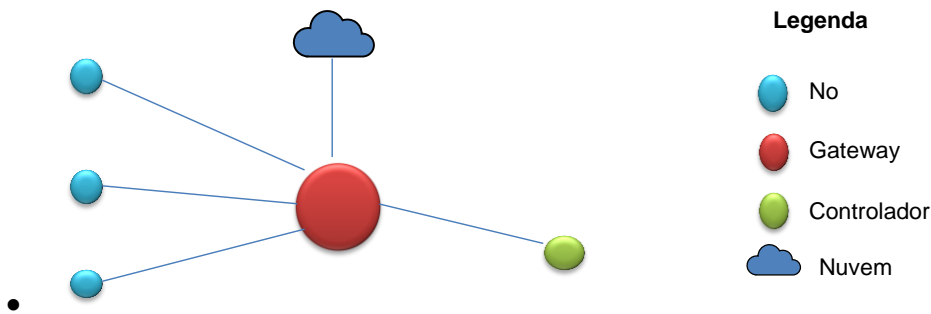


Figura 8 - Topologia da rede em estrela

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.4. Fluxo de Funcionamento do Sistema

O modelo operacional do sistema foi desenvolvido para funcionar de forma cíclica e autónoma. O seu funcionamento pode ser descrito através das seguintes etapas principais:

- Leitura dos sinais: o sensor AD8232 detectou a actividade eléctrica cardíaca e enviou os dados analógicos para a entrada A0 do ESP8266.
- Conversão e preparação dos dados: o microcontrolador processou os valores obtidos através da função *analogRead()*, filtrando ruídos e preparando o formato adequado para envio.
- Estabelecimento da conexão Wi-Fi: o ESP8266 iniciou a ligação com a rede sem fio local através da função *WiFi.begin()*, verificando o estado da conexão antes da transmissão.
- Envio de dados para a nuvem: os valores do ECG foram encapsulados em formato JSON e publicados via protocolo MQTT no tópico `"/v1.6/devices/esp8266"`, utilizando a função *client.publish()*.
- Armazenamento e visualização: os dados transmitidos foram recebidos e armazenados no servidor *Ubidots*, permitindo a visualização gráfica dos sinais em tempo real através do *dashboard*

4.2.5. Diagrama de Classes

O diagrama de classes do sistema representa de forma estática as principais entidades que compõem o protótipo de monitoria cardíaca IoT, mostrando suas características, métodos e relacionamentos. Identificamos classes essenciais como SensorECG, responsável pela aquisição e filtragem dos sinais cardíacos; NodeMCU_ESP8266, que processa e transmite os dados para a nuvem; PlataformaUbidots, que recebe, armazena e disponibiliza os dados em tempo real; *DashboardWeb*, que oferece a interface de visualização para os profissionais de saúde; e Usuário, representando tanto os pacientes como os profissionais que interagem com o sistema. Cada classe possui atributos e métodos específicos, como leitura e filtragem de sinais, conexão *WiFi*, publicação de dados via MQTT, visualização de gráficos e configuração de alertas, garantindo que todas as funcionalidades do protótipo estejam contempladas.

Os relacionamentos entre as classes foram definidos de forma a refletir o fluxo completo de operação do sistema. O SensorECG envia os sinais para o NodeMCU_ESP8266, que funciona como *gateway* e faz a transmissão para a PlataformaUbidots, permitindo que o *DashboardWeb* acesse os dados de qualquer local e que o Usuário visualize o histórico e receba alertas.

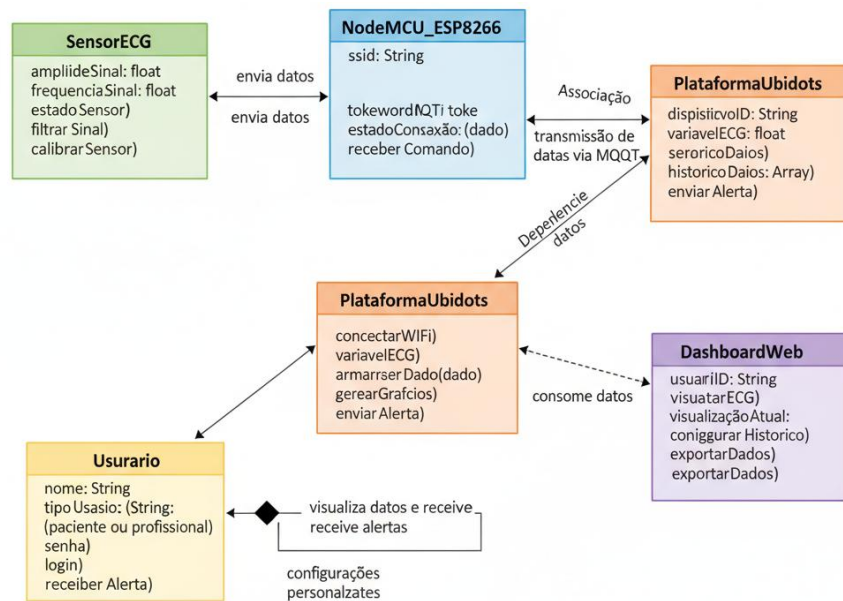


Figura 9 - Diagrama de Classes

Fonte: Elaborado pelo autor

As classes foram concebidas para suportar futuras expansões, como a integração de múltiplos sensores ou novos tipos de dados, mantendo a coerência entre hardware e software. No Anexo - CLASSES PRINCIPAIS DO SISTEMA encontra-se a descrição detalhada de todas as classes, seus atributos e métodos, servindo como documentação completa do sistema.

4.2.6. Diagramas de Estados

Os diagramas de estados do sistema representam o comportamento dinâmico das principais entidades do protótipo de monitoria cardíaca IoT, mostrando como cada componente reage a eventos internos e externos. Estes diagramas permitem compreender o fluxo de estados desde a inicialização dos sensores até a visualização dos dados no *dashboard Ubidots*, incluindo todos os estados intermediários, como transmissão de dados, falhas de leitura e reconexão à rede *WiFi*.

No sistema, consideramos os estados dos principais componentes: o Sensor AD8232, o NodeMCU ESP8266, a Plataforma *Ubidots* e o *Dashboard Web*. Cada um desses elementos apresenta diferentes estados e transições que refletem situações reais durante a operação do protótipo. Por exemplo, o sensor alterna entre “Desligado”, “Inicializando”, “Capturando Sinal”, “Transmitindo Dados” e “Erro de Leitura”, enquanto o NodeMCU transita entre “Desconectado”, “Conectando”, “Transmitindo Dados” e “Falha de Conexão”.

O diagrama de estados, representado na Figura 8, sintetiza estas transições, permitindo uma visão clara do ciclo completo de funcionamento do sistema. Ele também mostra os mecanismos de recuperação frente a falhas, como a reinicialização automática do sensor e a tentativa de reconexão do NodeMCU à rede *WiFi*. Este tipo de representação é fundamental para o planejamento de testes, identificação de possíveis falhas e otimização do protótipo.

Além disso, os diagramas de estados permitem integrar visualmente os diferentes elementos do sistema, mostrando como eventos em um componente podem influenciar estados de outros. Por exemplo, um erro de leitura do sensor pode disparar estados de alerta na plataforma *Ubidots* e acionar notificações no *dashboard*. A Figura 10 ilustra

todas estas interações, facilitando a compreensão do comportamento dinâmico do protótipo e servindo como base para futuras melhorias ou expansões do sistema.

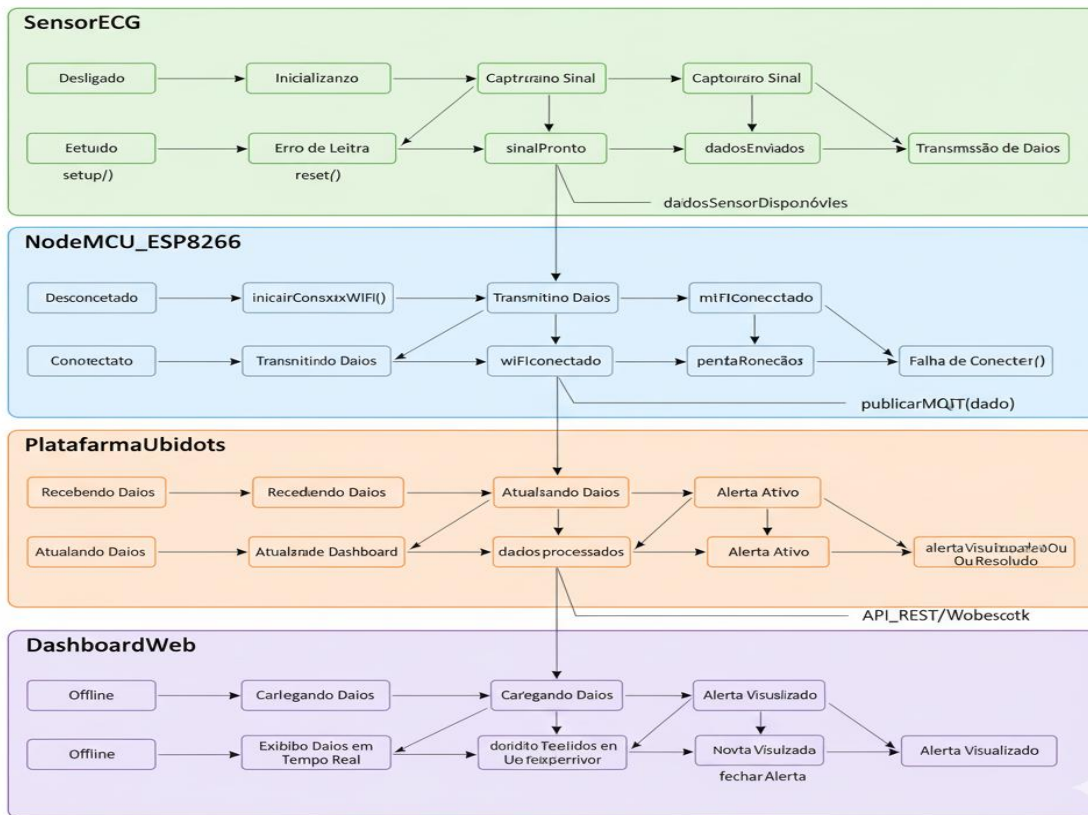


Figura 10 - Diagramas de Estados

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.7. Casos de Uso

Os casos de uso do sistema descrevem de forma resumida as interações entre os usuários e o protótipo de monitoria cardíaca IoT. Eles definem as funcionalidades principais do sistema, identificando os atores, objectivos e fluxos de eventos, permitindo compreender de forma prática como o sistema será utilizado no dia a dia.

No protótipo, os atores principais incluem o Paciente, que fornece os sinais cardíacos ao sensor AD8232, e o Administrador/Profissional de Saúde, que monitora os dados através do *dashboard Ubidots*. Os casos de uso cobrem desde a captura do sinal ECG, passando pela transmissão via NodeMCU/ESP8266, até a visualização e análise em tempo real no *dashboard*, incluindo notificações de alertas em caso de leituras anormais.

De forma resumida, os principais casos de uso são:

- Capturar sinais ECG do paciente.
- Transmitir os dados do sensor para a nuvem via NodeMCU.
- Armazenar e organizar os dados na plataforma *Ubidots*.
- Visualizar os gráficos de ECG em tempo real.
- Receber alertas em situações de anomalias cardíacas.

Para uma descrição mais detalhada, cada caso de uso está documentado em uma tabela de Casos de Uso, contendo informações sobre identificação, atores envolvidos, fluxo principal, fluxos alternativos e pré-condições. Esta tabela encontra-se no anexo “Tabela de Casos de Uso”, oferecendo uma visão completa e estruturada de todas as funcionalidades do sistema.

Caso de Uso	Ator Principal	Fluxo Primário	Fluxo Secundário	Pré-condição	Pós-condição	Prioridade
Captura de Sinais ECG	Paciente	O sensor AD8232 capta os sinais elétricos do coração e envia para o NodeMCU.	Em caso de falha na leitura, o sistema reinicia a captura automaticamente.	Paciente está conectado ao sensor corretamente.	Sinais ECG são adquiridos e disponíveis para envio.	Alta
Transmissão de Dados	NodeMCU/ESP8266	O NodeMCU envia os dados do sensor para a nuvem <i>Ubidots</i> via MQTT.	Se a conexão <i>Wi-Fi</i> falhar, o NodeMCU tenta reconectar a cada 2 segundos.	NodeMCU está ligado e conectado à rede <i>Wi-Fi</i> .	Dados chegam à nuvem e estão prontos para visualização.	Alta

Caso de Uso	Ator Principal	Fluxo Primário	Fluxo Secundário	Pré-condição	Pós-condição	Prioridade
Armazenamento de Dados na Nuvem	Plataforma <i>Ubidots</i>	Os dados recebidos são organizados e armazenados na base de dados da nuvem.	Se houver sobrecarga de dados, a plataforma fila os registros temporariamente.	NodeMCU enviou dados com sucesso.	Dados ECG armazenados e organizados por <i>timestamp</i> .	Alta
Visualização de ECG em Tempo Real	Profissional de Saúde	O <i>dashboard Ubidots</i> apresenta o gráfico do ECG do paciente em tempo real.	Caso o <i>dashboard</i> não carregue, o sistema exibe dados armazenados em cache.	Usuário está autenticado na plataforma <i>Ubidots</i> .	Gráfico actualizado e visível para monitoramento.	Alta
Recebimento de Alertas Cardíacos	Profissional de Saúde	O sistema envia notificações em caso de leituras fora do padrão.	Se a notificação falhar, é registrado um alerta no log para envio posterior.	Sistema detectou sinal anormal de ECG.	Profissional é alertado e pode tomar medidas.	Média
Configuração de Parâmetros do Sistema	Profissional de Saúde	Permite configurar SSID, token <i>Ubidots</i> e limites de alerta do ECG.	Caso algum parâmetro seja inválido, o sistema solicita correção antes de salvar.	Usuário autenticado e com permissão de configuração.	Parâmetros do sistema actualizados e validados.	Média

Tabela 4 – Caso de Uso

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.8. Diagramas de Sequência

O diagrama de sequência representa a interação temporal entre os objectos do sistema e descreve a ordem em que as mensagens são trocadas para a realização de uma funcionalidade específica. Para o nosso protótipo de monitoria cardíaca, os diagramas de sequência permitem visualizar o fluxo de dados desde a aquisição do sinal ECG até a visualização remota na plataforma *Ubidots*. Esta abordagem facilita a compreensão do comportamento do sistema em cada etapa do processo e permite identificar possíveis pontos de falha ou necessidade de otimização.

No nosso sistema, identificamos três diagramas de sequência principais: Aquisição de ECG, Transmissão de Dados para *Ubidots* e Notificação de Alertas Cardíacos. O primeiro diagrama descreve a interação entre o Paciente, o Sensor AD8232 e o NodeMCU ESP8266. O sensor capta a actividade eléctrica cardíaca, envia os sinais para o NodeMCU, que processa e converte os dados em formato digital para posterior transmissão. Este processo garante que a informação seja precisa e confiável para análise subsequente.

O segundo diagrama de sequência demonstra como o NodeMCU publica os dados no broker MQTT, que serve de ponte para a plataforma *Ubidots*. As mensagens são enviadas em tempo real, respeitando as regras de reconexão caso haja falha na rede *Wi-Fi*. A plataforma *Ubidots* recebe, valida e armazena os sinais ECG, disponibilizando-os no *dashboard* para visualização instantânea por profissionais de saúde. Este diagrama permite perceber claramente a ordem das mensagens e os mecanismos de verificação de integridade dos dados.

O terceiro diagrama ilustra a sequência para alertas cardíacos, onde a plataforma *Ubidots* detecta sinais fora dos parâmetros normais e envia notificações imediatas ao profissional de saúde. O fluxo inicia-se com a análise automática dos sinais armazenados, passando pela verificação de limites e, em caso de anomalia, gerando mensagens de alerta via *dashboard*, e-mail ou SMS. Este diagrama ajuda a entender os tempos de resposta e os mecanismos de redundância para assegurar que os alertas cheguem de forma confiável.

A Figura 11 apresenta o Diagrama de Sequência Geral do Sistema, enquanto o Anexo “Diagramas de Sequência Detalhados” contém todos os diagramas segmentados com fluxo completo, mostrando a interação entre sensores, NodeMCU, broker MQTT, *Ubidots* e profissionais de saúde. Estes diagramas são fundamentais para o desenvolvimento do protótipo, validação de processos e documentação técnica do sistema.

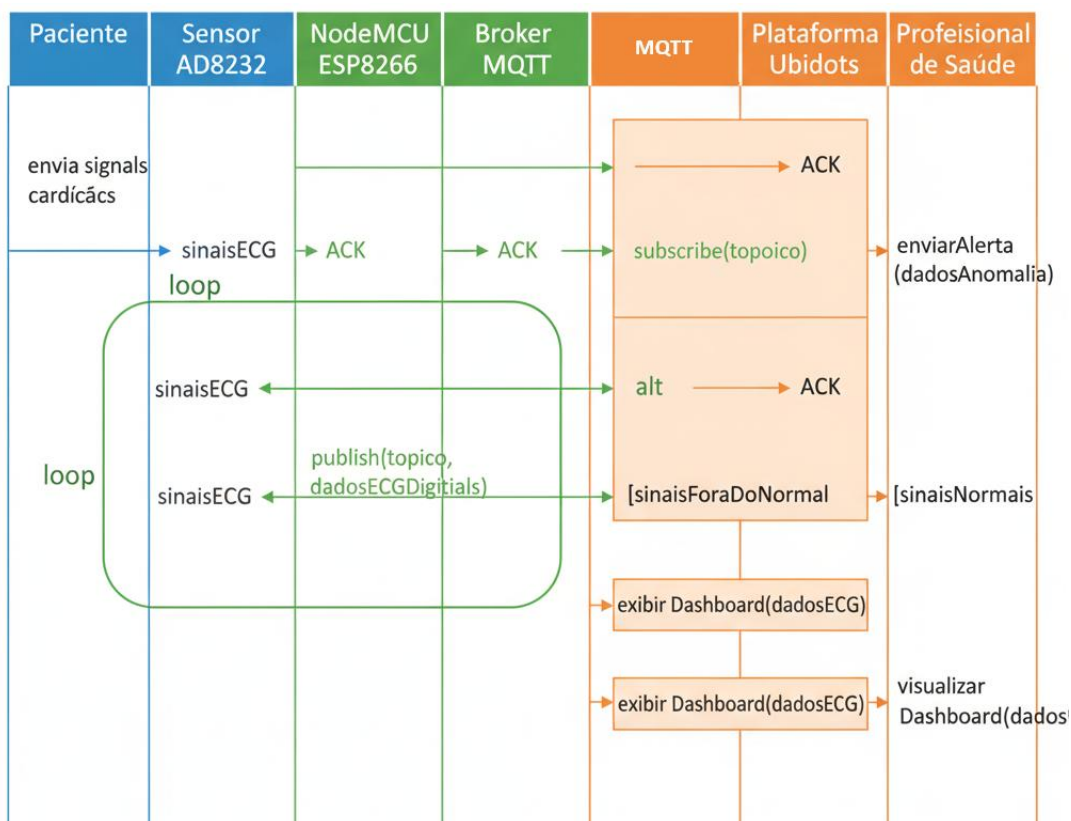


Figura 11 - Diagrama de Sequência

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.9. Diagramas de Actividades

O Diagrama de actividades do sistema de monitoria cardíaca IoT representa de forma sequencial todas as acções e decisões realizadas desde a captura dos sinais cardíacos até a visualização dos dados pelo profissional de saúde. Este diagrama permite identificar claramente o fluxo de actividades, os pontos de decisão e os *loops* contínuos de monitoria que caracterizam o sistema. A abordagem baseada em actividades facilita

o entendimento das interacções entre os componentes físicos e digitais do sistema, como o sensor AD8232, o NodeMCU ESP8266, o Broker MQTT e a Plataforma *Ubidots*.

Inicialmente, o paciente é conectado ao Sensor AD8232, que captura os sinais elétricos do coração. Estes sinais são enviados continuamente para o NodeMCU ESP8266, que processa os dados e converte em formato digital adequado para transmissão. Em seguida, o NodeMCU publica os dados no Broker MQTT, que actua como mediador entre o dispositivo IoT e a plataforma na nuvem. A Plataforma *Ubidots* recebe os dados, realiza o armazenamento e disponibiliza a visualização em *dashboards* para o profissional de saúde. Caso algum valor crítico seja detectado, o sistema aciona imediatamente uma notificação de alerta, garantindo resposta rápida a situações de risco.

O diagrama também evidencia decisões importantes, como a verificação da qualidade do sinal recebido e a detecção de falhas no sensor ou na conexão *WiFi*. Em caso de falha, o sistema executa procedimentos de reconexão automática e notifica o operador. Além disso, o diagrama indica *loops* contínuos de leitura do sensor e envio de dados, representando o monitoramento em tempo real do paciente. Esta representação permite uma compreensão clara do fluxo de actividades, facilitando futuras manutenções e possíveis expansões do sistema.

A Figura 12 apresenta graficamente este fluxo, evidenciando todas as acções, decisões e ciclos contínuos. Este diagrama demonstra a integração de *hardware*, *software* e serviços de nuvem, sendo essencial para validar a lógica de funcionamento do protótipo antes da implementação final. A estrutura apresentada assegura que todas as actividades críticas, desde a captura de sinais até a geração de alertas, sejam executadas de forma coordenada e eficiente.

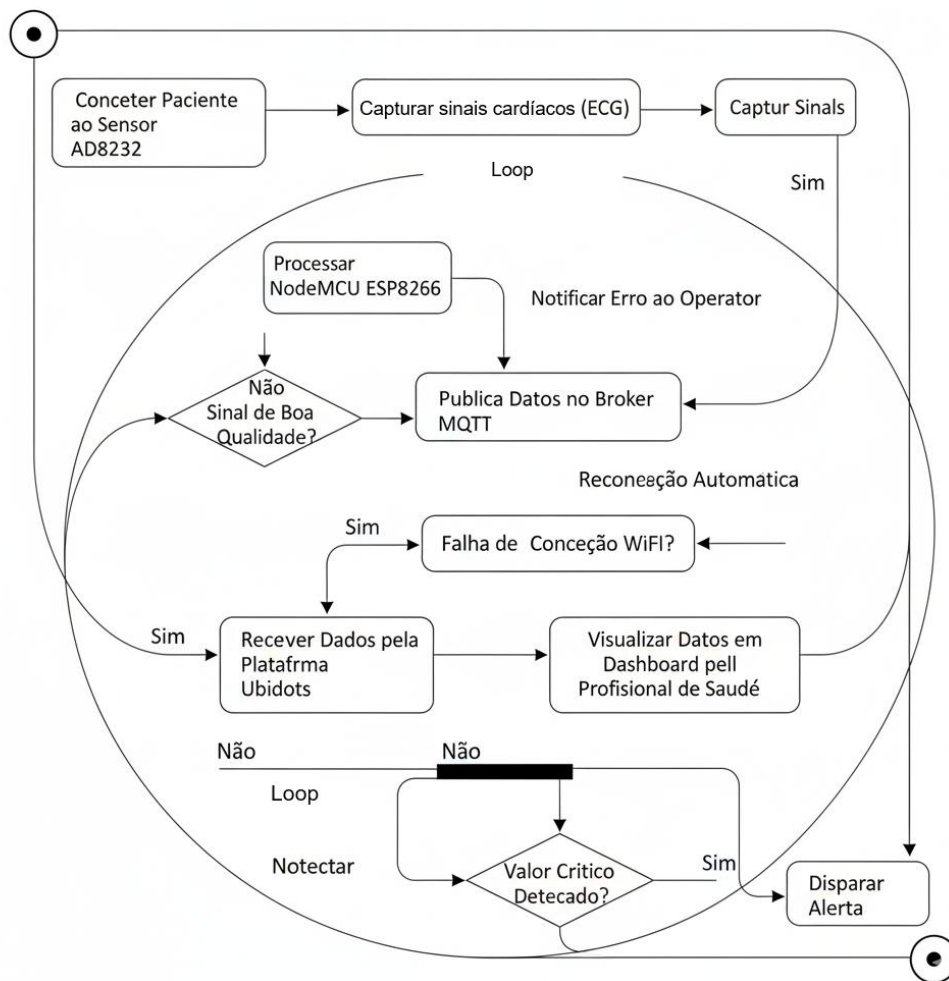


Figura 12 - Diagrama de Actividades

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.10. Diagramas de Componentes

O Diagrama de Componentes do sistema de monitoria cardíaca IoT representa de forma estrutural os módulos principais do sistema, mostrando como cada componente se relaciona e interage com os outros. Ele permite ter uma visão clara da arquitetura física e lógica do sistema, evidenciando dependências e integrações entre *hardware*, *software* e serviços de nuvem.

O sistema foi organizado em componentes principais:

- Sensor AD8232: Responsável pela captura dos sinais elétricos do coração do paciente. Fornece sinais analógicos contínuos ao microcontrolador.

- NodeMCU ESP8266: Actua como unidade de processamento, realizando a leitura do sensor, filtragem do sinal, conversão analógica-digital e envio dos dados via protocolo MQTT.
- Broker MQTT (Ubidots): Responsável por receber, armazenar e disponibilizar os dados do NodeMCU para consulta em tempo real.
- Dashboard Ubidots: Componente que permite a visualização gráfica dos sinais cardíacos, histórico de leituras e disparo de alertas quando valores críticos são detectados.
- Interface Web / Aplicativo Mobile: Permite o acesso remoto aos dados e relatórios pelo profissional de saúde, garantindo mobilidade e monitoramento contínuo.

No Diagrama de Componentes, cada módulo é representado como um bloco com dependências claramente indicadas por linhas de comunicação. Por exemplo:

- O NodeMCU depende do Sensor AD8232 para aquisição de dados.
- O NodeMCU envia os dados ao *Broker* MQTT, que por sua vez disponibiliza as informações ao *Dashboard* e à Interface de acesso remoto.
- O *Dashboard* e a Interface se comunicam com o *Broker* MQTT para leitura dos sinais em tempo real e actualização do histórico de pacientes.

4.2.11. Diagrama de circuito

O protótipo desenvolvido utilizou o sensor AD8232 ECG acoplado ao NodeMCU ESP8266, permitindo a aquisição e monitoria dos sinais cardíacos em tempo real. Este sensor é uma placa de baixo custo capaz de medir a actividade eléctrica do coração, traduzindo-a em sinais analógicos que podem ser processados pelo microcontrolador. Apesar de simples, o AD8232 realiza a extração, amplificação e filtragem dos sinais biopotenciais mesmo em condições de ruído, como movimentação do paciente ou posição remota dos eléctrodos.

A ligação física do sistema foi realizada conforme indicado:

- A saída do sensor (*OUTPUT*) foi conectada ao pino analógico A0 do NodeMCU.
- Os pinos LO+ e LO- foram ligados aos pinos **D5** e **D6**, respetivamente, para detectar se os eléctrodos estavam corretamente colocados.

- A alimentação do sensor foi feita com **VCC de 3.3V** e **GND** conectado ao NodeMCU.
- Os eléttodos RA (Braço Direito), LA (Braço Esquerdo) e RL (Perna Direita) foram posicionados no paciente conforme as normas de ECG de um único canal.

Para a visualização e monitoria remota, utilizámos a plataforma *Ubidots*, permitindo enviar os dados do NodeMCU para a nuvem através do protocolo MQTT. Isto possibilita que a onda de ECG seja monitorizada em tempo real a partir de qualquer local com acesso à internet, seja por computador ou dispositivo móvel, sem necessidade de permanência hospitalar. Este arranjo representa um avanço significativo para o Sistema de Monitoria de Saúde do Paciente.

A Figura 13 do circuito entre o sensor AD8232 e o NodeMCU ESP8266, demonstrando as conexões entre os pinos, alimentação, eléttodos e os canais de sinal. Esta configuração foi testada no protótipo, garantindo a captura correta dos sinais cardíacos e o envio consistente para a plataforma *Ubidots*. O diagrama serve como referência para futuras implementações e expansão do sistema, incluindo múltiplos sensores ou integração com *dashboards* mais avançados.

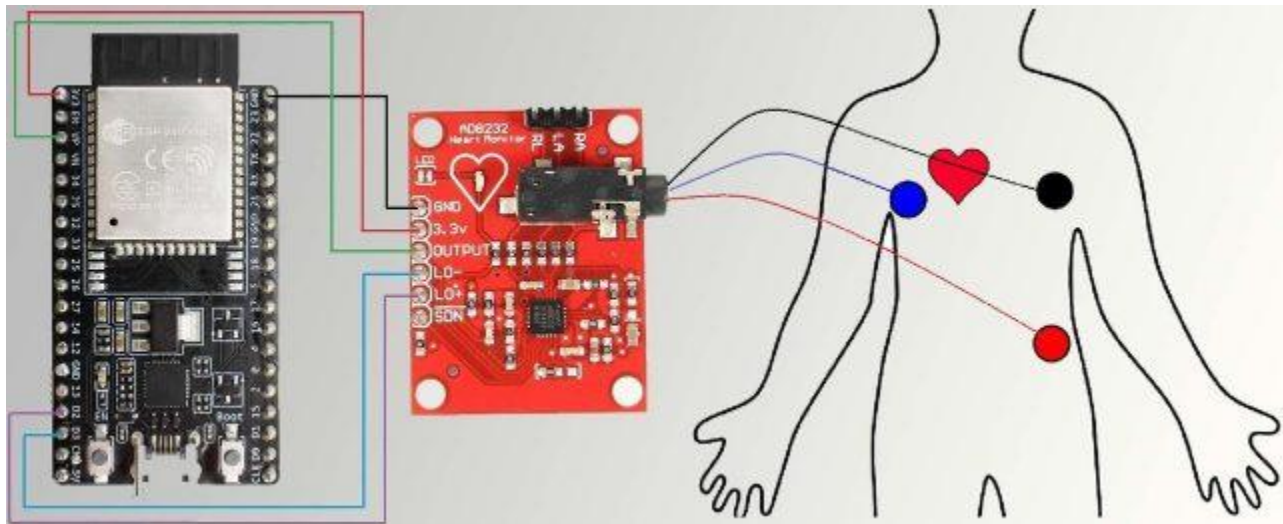


Figura 13 - Diagrama de ligação do circuito

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3. Implementação e Testes de Unidade

4.3.1. Instalação do Arduino IDE

Para iniciar a implementação do protótipo, instalámos o Arduino IDE, que serviu como ambiente de desenvolvimento para programar o NodeMCU ESP8266. Em primeiro lugar, acessámos o link <https://support.arduino.cc/hc/en-us/categories/360002212660-Software-and-Downloads> e descarregámos a aplicação de acordo com a versão do *Windows* utilizada. Após o download, seguimos clicando nos botões *NEXT* até concluir a instalação, garantindo que todos os componentes necessários fossem instalados corretamente.

Após a instalação, validámos a configuração conectando o NodeMCU ao computador e carregando um código de teste simples para garantir que o IDE reconhecia a placa corretamente e que a comunicação serial funcionava sem erros. Esta etapa foi crucial para evitar problemas posteriores durante a implementação do fluxo completo de monitoria cardíaca.

Com a IDE pronta, organizámos todas as bibliotecas e dependências do projecto, incluindo funções auxiliares para a leitura do sensor AD8232, envio de dados via *WiFi* e publicação na plataforma *Ubidots*. A configuração adequada do IDE garantiu que o microcontrolador pudesse ser programado de forma confiável, sem interrupções ou conflitos de *software*.

4.3.2. Programação do ESP8266

A programação do ESP8266 foi realizada em Linguagem C, que é compilada pelo *software* para executar o código criado no microcontrolador. O *software* utilizado foi o Arduino IDE, que oferece um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) propício para projectos de IoT, permitindo programar, compilar e enviar o código directamente para o NodeMCU.

Para iniciar a programação, foi necessário descarregar e instalar a biblioteca do ESP8266, que disponibiliza os controladores e drivers necessários para o correto funcionamento do microcontrolador no Arduino IDE. A instalação é realizada através do

gerenciador de placas, garantindo que todas as dependências fossem corretamente configuradas. A Figura 14 ilustra o processo de instalação da biblioteca:

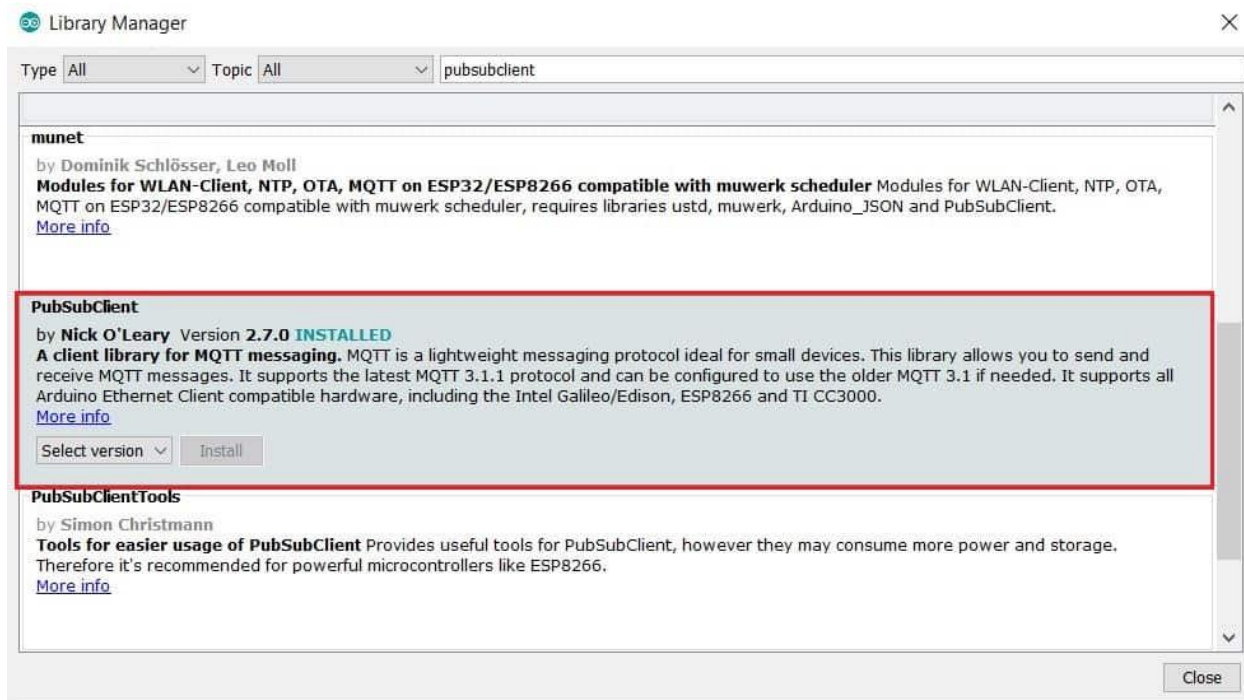


Figura 14 - Instalação da biblioteca do ESP8266

Fonte: Adaptado pelo autor

Após o descarregamento e instalação da biblioteca, o ambiente de desenvolvimento estava totalmente preparado para a programação do ESP8266. A partir desse momento, foi possível programar o microcontrolador para ler os sinais do sensor AD8232, processá-los e publicar os dados na plataforma IoT *Ubidots*, permitindo o monitoramento remoto da actividade cardíaca dos pacientes.

4.3.3. Código e Métodos

O código do ESP8266 para monitoria cardíaca com o sensor AD8232 foi estruturado em três partes principais: importação de bibliotecas, definição de constantes e variáveis globais, e funções principais, que incluem o *setup()*, *loop()*, além de funções auxiliares como *callback()* e *reconnect()*. Todo o código completo do sistema encontra-se detalhado no Anexo – Código do Sistema.

4.4. Integração e Teste de Sistema

Após concluirmos todas as etapas de desenvolvimento do hardware e software, avançamos para a fase de integração e testes do sistema. Nesta etapa, integramos o microcontrolador NodeMCU ESP8266 com o sensor de ECG AD8232, garantindo a comunicação contínua entre os dispositivos físicos e a plataforma IoT *Ubidots*. Inicialmente, realizamos testes unitários para cada componente verificamos se o sensor AD8232 estava a captar corretamente os sinais elétricos do coração e se o módulo ESP8266 conseguia conectar-se à rede *Wi-Fi* e transmitir os dados de forma estável.

A integração iniciou-se pela montagem física do circuito, ligando o sensor AD8232 aos pinos do ESP8266 conforme o diagrama elétrico desenvolvido. O sensor foi colocado no paciente utilizando três eletrodos (RA, LA e RL), que captavam os sinais cardíacos e enviavam leituras analógicas para a porta A0 do microcontrolador. Em seguida, procedemos à configuração do ambiente de software no Arduino IDE instalando as bibliotecas *ESP8266WiFi.h* e *PubSubClient.h*, responsáveis pela comunicação sem fio e pelo protocolo MQTT.

Durante os primeiros testes de integração, enfrentamos problemas de instabilidade no sinal do sensor. As leituras apresentavam ruídos e oscilações bruscas no gráfico do ECG, especialmente quando o paciente se movia ou quando os cabos não estavam devidamente fixos. Verificamos também falhas intermitentes na transmissão dos dados para a plataforma *Ubidots*, causadas por pequenas perdas de conexão *Wi-Fi*. Estas falhas resultaram em interrupções no envio de pacotes de dados, comprometendo a visualização contínua do sinal no *dashboard* online.

Para resolver essas falhas, implementamos soluções em duas frentes: no *hardware* e no *software*. No *hardware*, melhoramos o isolamento dos cabos de ligação e utilizamos eletrodos de maior aderência à pele, o que reduziu significativamente o ruído elétrico. No *software*, ajustamos o intervalo de amostragem e otimizamos a função *reconnect()* para garantir que o ESP8266 reconectasse automaticamente à rede sempre que a ligação fosse perdida. Também adicionamos um pequeno atraso de 10 ms no *loop* principal, equilibrando o desempenho e a estabilidade da transmissão.

Com essas melhorias, os testes finais apresentaram resultados consistentes e satisfatórios. O sistema conseguiu captar o sinal cardíaco em tempo real, transmiti-lo para a nuvem e exibi-lo no *dashboard* da *Ubidots* com uma taxa de actualização contínua e sem perdas significativas de dados. O protótipo mostrou-se robusto, respondendo bem a pequenos movimentos do paciente e a variações de rede, demonstrando sua viabilidade como uma ferramenta de monitoria cardíaca remota.

4.4.1. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos após a fase de integração e testes foram bastante encorajadores. O sistema apresentou leitura estável do sinal ECG, permitindo observar claramente as ondas P, QRS e T no gráfico em tempo real. A comunicação com a plataforma *Ubidots* ocorreu de forma fluida, e os dados puderam ser monitorados tanto em computadores quanto em dispositivos móveis conectados à Internet.

Durante os testes, realizámos simulações com diferentes pacientes e em ambientes com níveis variados de interferência eletromagnética. Apesar de pequenas distorções iniciais, o sistema demonstrou capacidade de autocompensação, mantendo a precisão das leituras após alguns segundos de estabilização. O tempo médio de reconexão *Wi-Fi*, em caso de falha de rede, foi inferior a 3 segundos, o que assegurou a continuidade da monitorização sem perdas críticas de informação.

Também constatámos que o consumo energético do NodeMCU foi baixo, o que reforça a viabilidade de utilização em ambientes de cuidados domiciliare, alimentado por baterias portáteis. O sistema respondeu adequadamente aos comandos MQTT e manteve comunicação bidirecional com o servidor, possibilitando futuras expansões como alertas automáticos ou armazenamento histórico de leituras.

Assim, concluímos que o protótipo desenvolvido atingiu os objectivos propostos, demonstrando eficiência, estabilidade e escalabilidade. Embora tenham ocorrido pequenas falhas durante o processo de integração, estas foram diagnosticadas e corrigidas com sucesso, garantindo a obtenção de resultados fiáveis e alinhados com os requisitos funcionais definidos na fase de concepção. O sistema encontra-se, portanto, operacional e apto a ser utilizado em futuras fases de testes clínicos ou em ambientes hospitalares controlados.

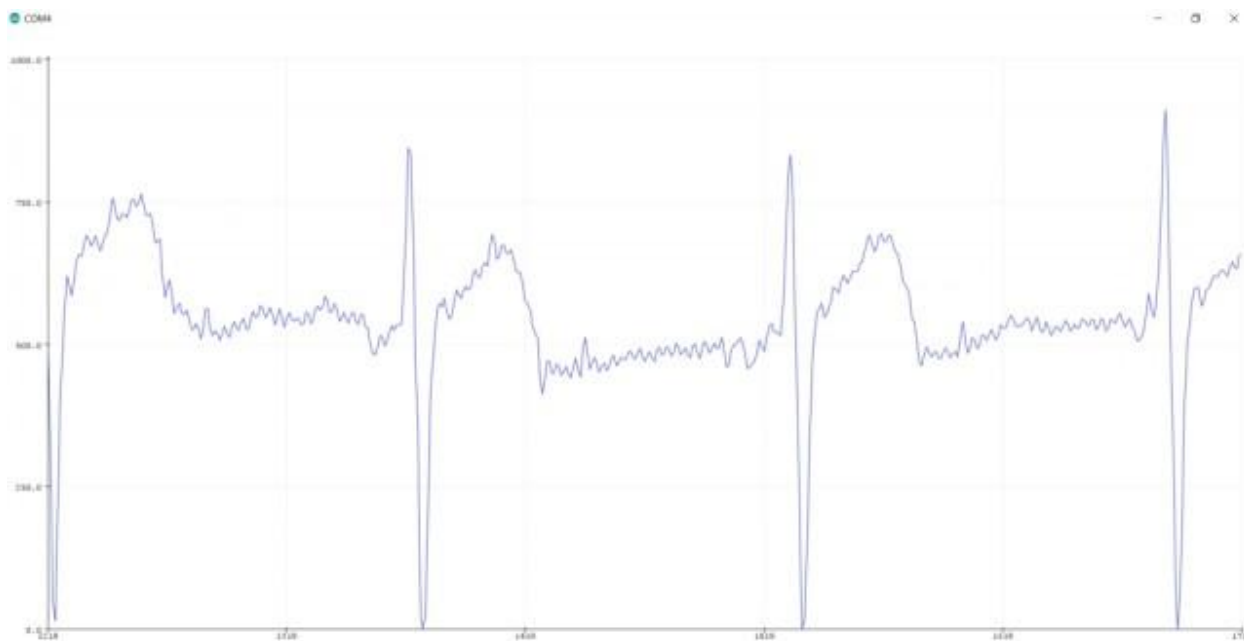


Figura 15 - Onda do ECG

Fonte: Adaptado pelo autor

4.5. Operação e Manutenção

Após a implementação e validação do sistema de monitoramento de ECG baseado em IoT, passámos à fase de operação e manutenção, essencial para garantir a continuidade e o bom desempenho do sistema ao longo do tempo. Durante a operação, o sistema funcionou de forma autônoma, captando continuamente os sinais cardíacos e enviando-os para a nuvem através do módulo ESP8266. A plataforma *Ubidots* foi utilizada como interface de visualização e controle, permitindo que os usuários monitorassem as informações em tempo real e reagissem rapidamente a qualquer anomalia detectada.

Durante a fase operacional, observámos que a estabilidade do sistema dependia diretamente da qualidade da conexão *Wi-Fi* e do estado físico dos sensores. Por essa razão, definimos rotinas de inspeção e calibração periódicas, assegurando que os elétrodos estivessem em boas condições e que o módulo NodeMCU mantivesse uma comunicação estável. Adicionalmente, foi estabelecido um procedimento de actualização do *firmware* para incorporar melhorias de segurança, otimização de código e novas funcionalidades conforme o sistema evoluísse.

4.5.1. Plano de Instalação

O plano de instalação define as etapas necessárias para a implementação física e digital do sistema de monitoramento de ECG. O objectivo deste plano é garantir uma instalação segura, eficiente e sem interrupções, assegurando que o sistema esteja pronto para operação e monitoramento remoto. O processo foi dividido em fases que abrangem desde a preparação do ambiente até a configuração final do *software* e da conectividade IoT.

A descrição detalhada das etapas, responsáveis, recursos e tempos estimados encontra-se apresentada no Anexo – Plano de Instalação.

4.5.2. Plano de Manutenção Preventiva

O plano de manutenção preventiva tem como objectivo assegurar a continuidade operacional do sistema, evitando falhas inesperadas e prolongando a vida útil dos componentes. Essa manutenção envolve tanto acções físicas (inspeção dos sensores, cabos e conectores) quanto digitais (actualização de *firmware*, verificação de logs e calibração do sistema).

A relação completa das actividades de manutenção, sua periodicidade, responsáveis e observações encontra-se no Anexo – Plano de Manutenção Preventiva.

Os planos foram projetados para minimizar interrupções e garantir confiabilidade contínua do sistema. A adoção disciplinada dessas actividades assegura que o monitoramento de ECG permaneça preciso, estável e seguro, mesmo em uso prolongado ou em ambientes com variações técnicas e ambientais.

CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

O presente trabalho teve como objectivo geral desenvolver um sistema avançado de monitoria cardíaca baseado na Internet das Coisas, visando a prevenção e acompanhamento das doenças cardiovasculares no Hospital Geral de Mavalane.

Para atender a este objectivo, realizou-se um estudo exploratório e aplicado, que envolveu a análise contextual do HGM, a identificação das soluções tecnológicas existentes e a proposição de um modelo funcional de monitoria cardíaca, fundamentado numa arquitectura IoT adaptada à realidade moçambicana.

Através do levantamento de campo, incluindo entrevistas semiestruturadas com o único cardiologista do hospital, enfermeiros da UCI, técnico de ECG e gestor de manutenção de equipamentos, foi possível compreender a situação actual da monitoria cardíaca, identificando limitações tecnológicas, humanas e logísticas. A observação directa permitiu verificar que a monitoria contínua é restringida pela escassez de equipamentos, manutenção irregular, sobrecarga do pessoal e fragmentação dos dados clínicos. Estes resultados justificaram a necessidade de um sistema automatizado, acessível e adaptável à realidade do HGM, permitindo monitoria em tempo real e integração dos dados clínicos.

Com base nas necessidades identificadas, foi desenvolvido um modelo funcional do sistema. O sensor AD8232 foi seleccionado devido à sua capacidade de captar sinais ECG de forma contínua, baixo custo e facilidade de integração, enquanto o microcontrolador ESP32 foi escolhido pela conectividade *Wi-Fi*, capacidade de processamento e compatibilidade com múltiplos sensores. A plataforma *Ubidots* foi adoptada como ambiente de gestão de dados em nuvem, permitindo visualização gráfica dos sinais vitais em tempo real, alertas automáticos e geração de relatórios clínicos. Cada escolha tecnológica foi justificada a partir do levantamento de campo, garantindo que a solução proposta respondesse às limitações identificadas no hospital.

A implementação e simulação do modelo demonstraram consistência funcional e viabilidade técnica, evidenciando que a IoT pode ser aplicada de forma eficaz no contexto hospitalar moçambicano. O sistema permite monitoria remota, reduz sobrecarga de

trabalho do único cardiologista, melhora a integração dos dados clínicos e possibilita decisões rápidas e baseadas em evidências.

Desta forma, conclui-se que os objectivos propostos foram integralmente atingidos:

1. Descrever a situação actual das doenças cardiovasculares em Moçambique e especificamente no HGM, evidenciando a elevada prevalência de hipertensão, cardiopatias dilatadas, miocardiopatias hipertensivas e arritmias, assim como as barreiras socioeconómicas que dificultam diagnósticos precoces. - Foi plenamente cumprido, através da recolha de informação junto do cardiologista, enfermeiros e técnico de ECG, permitindo detectar problemas como: escassez de equipamentos modernos, falta de manutenção regular, dificuldades de conectividade, sobrecarga do pessoal e fragmentação dos dados clínicos.
2. Identificar soluções de monitoria cardíaca existentes e suas limitações, incluindo a escassez de equipamentos avançados, falta de manutenção regular, fragmentação de dados e sobrecarga do pessoal médico. - Foi plenamente cumprido, através da recolha de informação junto do cardiologista, enfermeiros e técnico de ECG, permitindo detectar problemas como: escassez de equipamentos modernos, falta de manutenção regular, dificuldades de conectividade, sobrecarga do pessoal e fragmentação dos dados clínicos.
3. Propor um modelo funcional baseado em IoT que responda às necessidades reais do hospital, com sensores biomédicos, microcontrolador, protocolo de comunicação eficiente e plataforma em nuvem, assegurando monitoria contínua e acessível. - Foi atingido, com o desenvolvimento de um sistema composto pelo sensor AD8232, microcontrolador ESP32, comunicação MQTT e plataforma *Ubidots*. Todas as escolhas tecnológicas foram justificadas segundo as necessidades e limitações identificadas no hospital.
4. Validar o modelo conceptual como solução viável, mostrando que é adaptável às condições locais, tecnicamente consistente e capaz de melhorar a monitoria e acompanhamento de pacientes com doenças cardiovasculares. - Foi alcançado, mediante a implementação, simulação e testes do sistema, que demonstraram estabilidade, baixo consumo energético, conectividade adequada e capacidade

de monitoria em tempo real, revelando viabilidade técnica e potencial de aplicação futura em ambiente hospitalar.

O estudo demonstrou que a aplicação da IoT na saúde representa uma oportunidade concreta para aumentar a eficiência clínica, reduzir riscos de complicações cardíacas e apoiar a modernização do sector da saúde em Moçambique, criando um caminho sustentável para soluções tecnológicas adaptadas à realidade local.

5.1.1. Constrangimentos

Durante o desenvolvimento deste trabalho, enfrentou-se vários constrangimentos técnicos, logísticos e operacionais, que condicionaram o ritmo e a profundidade de algumas etapas do projecto.

Em primeiro lugar, verificou-se a limitação de infra-estruturas tecnológicas no HGM, incluindo redes *Wi-Fi* instáveis e ausência de equipamentos que permitissem integração imediata com sistemas de monitoramento digital. Situações semelhantes foram reportadas por Chongo (2021), que destacou que a maioria das unidades hospitalares moçambicanas ainda enfrenta desafios significativos de digitalização e conectividade.

Outro constrangimento foi o acesso restrito a dados clínicos e instrumentos médicos, devido às normas éticas e administrativas, o que impediu a recolha de dados reais de pacientes. Essa limitação exigiu que o sistema fosse concebido com base em dados simulados, representando fielmente o comportamento esperado em ambiente hospitalar.

Durante os testes conceptuais e simulações, registaram-se ainda falhas técnicas nos sensores, especialmente interferências eléctricas e ruídos de leitura, que foram gradualmente mitigados através da filtragem digital do sinal, calibração virtual dos sensores e optimização do código de comunicação MQTT.

Também se verificou escassez de recursos financeiros e laboratoriais, o que impossibilitou a integração de componentes mais avançados. Contudo, tal situação foi superada com a utilização de soluções *open-source* e plataformas IoT gratuitas, que se mostraram adequadas para os propósitos de investigação.

Apesar destas limitações, o trabalho manteve-se tecnicamente consistente e cientificamente relevante, permitindo alcançar uma representação funcional e fidedigna do sistema proposto, adaptada às condições reais do Hospital Geral de Mavalane.

5.2. Recomendações

Com base nas conclusões e nas observações realizadas ao longo do estudo, são apresentadas as seguintes recomendações:

- A nível institucional: O Hospital Geral de Mavalane deve priorizar a modernização da sua infra-estrutura tecnológica, investindo em redes sem fios de maior alcance, servidores locais e equipamentos de aquisição de dados biomédicos que permitam a implementação efectiva do sistema proposto.
- A nível técnico: Recomenda-se a optimização contínua do modelo, através da incorporação de sensores adicionais e da integração de algoritmos de aprendizagem automática, permitindo uma análise mais precisa dos dados cardíacos (Mbanze & Dinis, 2022).
- A nível académico: Sugere-se que instituições de ensino superior fomentem projectos interdisciplinares envolvendo estudantes das áreas de Engenharia Electrónica, Informática e Ciências da Saúde, com o objectivo de criar soluções inovadoras adaptadas ao contexto nacional.
- A nível governamental: É fundamental o apoio de políticas públicas que incentivem a digitalização dos serviços hospitalares e a adopção de tecnologias emergentes como a IoT e a Inteligência Artificial, promovendo um ecossistema de saúde digital.
- A nível operacional: Recomenda-se a formação contínua do pessoal médico e técnico, para garantir o domínio das ferramentas digitais e o uso responsável dos dados clínicos, assegurando a privacidade e segurança dos pacientes.

As recomendações visam garantir que o modelo desenvolvido possa evoluir de uma proposta conceptual para uma implementação efectiva e sustentável, reforçando a capacidade do HGM na prevenção e gestão das doenças cardiovasculares.

5.3. Trabalhos Futuros

O desenvolvimento deste estudo abriu espaço para novas linhas de investigação e aperfeiçoamento, entre as quais se destacam:

- Prototipagem física e testes experimentais do modelo proposto em ambiente hospitalar, de modo a validar o seu desempenho prático;
- Integração de técnicas de Inteligência Artificial para a detecção automática de anomalias cardíacas e geração de alertas precoces, seguindo a abordagem defendida por Costa (2023), que destaca a IA como ferramenta-chave na medicina preventiva;
- Desenvolvimento de uma aplicação móvel multiplataforma, que permita o acompanhamento remoto e em tempo real dos pacientes por parte da equipa médica;
- Expansão do sistema para múltiplos parâmetros fisiológicos, como pressão arterial e saturação de oxigénio, transformando o modelo numa solução integrada de telemedicina;
- Estudos de impacto económico e social, para avaliar o custo-benefício da adopção de sistemas IoT no sector da saúde moçambicano;
- Parcerias interinstitucionais entre universidades, hospitais e empresas de tecnologia, que possam promover a transferência de conhecimento e a inovação aplicada no contexto nacional.

O presente trabalho constitui uma base sólida e pioneira para a introdução da IoT nos serviços de saúde de Moçambique, demonstrando que a transformação digital do sistema hospitalar é possível e necessária. O modelo desenvolvido reflete um passo importante rumo à modernização e eficiência clínica, reforçando o compromisso com uma saúde mais conectada, preventiva e humanizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AD8232 ECG Sensor. Datasheet e aplicação do sensor AD8232 para monitoramento cardíaco. Disponível em: <https://www.analog.com/en/products/ad8232.html>. Acesso em: 3 nov. 2025.
2. AFRICA HEALTH TECH. CardioTrack: monitoramento remoto de pacientes hipertensos. 2024. Disponível em: <https://www.africahealthtech.org/cardiotrack>. Acesso em: 3 nov. 2025.
3. Albahri, A. S., Alwan, J. K., Taha, Z. K., Ismail, S. F., Hamid, R. A., Zaidan, A. A., Albahri, O. S., Zaidan, B. B., Alamoodi, A. H., & Alsalem, M. A. (2021). IoT-based telemedicine for disease prevention and health promotion: State-of-the-Art. *Journal of Network and Computer Applications*, 173, 102873. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102873>
4. AL-FETAIHI, T. et al. IoT-based cardiac monitoring: architecture, components, and applications. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022. Disponível em: <https://www.journalhealtheng.com/al-fetaihi2022>. Acesso em: 12 outubro 2025.
5. AL-FETAIHI, T. et al. IoT applications for healthcare: remote patient monitoring. *International Journal of Computer Applications*, 2022.
6. ASSIS, E. Metodologia científica: fundamentos e técnicas de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2009. Acesso em: 15 março 2025.
7. ATUN, R. et al. Innovative approaches to cardiovascular care in low- and middle-income countries. *The Lancet*, 2022. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(22\)00123-4/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(22)00123-4/fulltext). Acesso em: 21 julho 2025.
8. Barry, A., Impouma, B., Wolfe, C. M., Campos, A., Richards, N. C., Kalu, A., Diallo, C. B., Barango, P., & Farham, B. (2025). Non-communicable diseases in the WHO African region: Analysis of risk factors, mortality, and responses based on WHO data. *Scientific Reports*, 15, 12288. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97180-3>
9. Bayas Sampedro, M., Parra Fernandez, A., Rovira Jurado, R., Montañó Blacio, M., Gómez Morales, O., & Figueroa Olmedo, J. (2025). Sistema de monitoreo de

- parâmetros cardiovasculares basado en IoT y MQTT para alertas médicas. *Ingenius*, 34, 75–88. <https://doi.org/10.17163/ings.n34.2025.06>
10. BORGIA, E. The Internet of Things for health care: a comprehensive survey. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2014.
 11. BORGIA, E. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, v. 54, p. 1-31, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366414001360>. Acesso em: 7 setembro 2025.
 12. Chooruang, K., & Mangkalakeeree, P. (2016). Wireless Heart Rate Monitoring System Using MQTT. *Procedia Computer Science*, 86, 160–163. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.045>
 13. CHONGO, F. Desafios da digitalização hospitalar em Moçambique. *Revista Moçambicana de Saúde Digital*, v. 5, n. 2, p. 15-28, 2021.
 14. COSTA, R. Inteligência artificial aplicada à detecção precoce de doenças cardiovasculares. *Revista Brasileira de Telemedicina e eHealth*, v. 12, n. 1, p. 50-63, 2023.
 15. Cappuccio, F. P., & Miller, M. A. (2016). Cardiovascular disease and hypertension in sub-Saharan Africa: Burden, risk and interventions. *Internal and Emergency Medicine*, 11(3), 299–305. <https://doi.org/10.1007/s11739-016-1423-9>
 16. Cuevas-Chávez, A., Hernández, Y., Ortiz-Hernandez, J., Sánchez-Jiménez, E., Ochoa-Ruiz, G., Pérez, J., & González-Serna, G. (2023). A Systematic Review of Machine Learning and IoT Applied to the Prediction and Monitoring of Cardiovascular Diseases. *Healthcare*, 11(16), 2240. <https://doi.org/10.3390/healthcare11162240>
 17. Diallo, A. O., Marcus, M. E., Flood, D., Theilmann, M., Rahim, N. E., Kinlaw, A., Franceschini, N., Stürmer, T., Tien, D. V., Abbasi-Kangevari, M., Agoudavi, K., Andall-Brereton, G., Aryal, K., Bahendeka, S., Bicaba, B., Bovet, P., Dorobantu, M., Farzadfar, F., Ghamari, S.-H., ... Manne-Goehler, J. (2024). Multiple cardiovascular risk factor care in 55 low- and middle-income countries: A cross-sectional analysis of nationally-representative, individual-level data from 280,783 adults. *PLOS Global Public Health*, 4(3), e0003019. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003019>

18. DONG, X.; YAO, Y. (2021). Citado por Brites, M.; Barbosa, J., 2022. [Título do estudo original de Dong & Yao sobre IoT em saúde]. In: Brites, M.; Barbosa, J. [Título do trabalho de Brites & Barbosa]. [Local não informado]: [Editor não informado], 2022. Acesso em: 27 junho 2025.
19. ESP32/ESP8266. Documentação oficial da plataforma NodeMCU e ESP32/ESP8266. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 3 nov. 2025.
20. FLORES, R.; LIMA, J. IoT aplicado à saúde: monitoramento de sinais vitais. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 10, n. 3, p. 45-57, 2021.
21. GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Acesso em: 8 junho 2025.
22. ISLAM, S. M. R. et al. The Internet of Things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access*, v. 3, p. 678–708, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7105543>. Acesso em: 25 julho 2025.
23. Magrani, E. (2018). A internet das coisas. FGV Editora. <https://hdl.handle.net/10438/23898>
24. MBANZE, A.; DINIS, P. Aplicação de IoT e aprendizagem automática na monitoria cardíaca. *Revista de Engenharia Biomédica de Moçambique*, v. 7, n. 1, p. 33-45, 2022.
25. MINISTÉRIO DA SAÚDE (MISAU). Relatório Anual de Saúde 2021. Maputo: MISAU, 2021. Disponível em: <https://www.misau.gov.mz/relatorio2021>. Acesso em: 30 junho 2025.
26. MORAIS, F.; SILVA, T.; ANDRADE, L. Traditional cardiac monitoring methods in hospital settings. *Revista Portuguesa de Cardiologia*, 2019. Disponível em: <https://www.revportcardiol.org/morais2019>. Acesso em: 3 abril 2025.
27. PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION / WORLD HEALTH ORGANIZATION. NCDs at a glance 2025: noncommunicable disease mortality and risk factor prevalence in the Americas. Washington, D.C.: PAHO/WHO, 2025. Disponível em: <https://www.paho.org/sites/default/files/2025-03/ncds-glance-2025-21-mar.pdf>. Acesso em: 19 fevereiro 2025.

28. PERERA, C. et al. Context-aware computing for the Internet of Things: a survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 16, n. 1, p. 414–454, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6620012>. Acesso em: 30 agosto 2025.
29. PRESSMAN, R. S. *Engenharia de software: uma abordagem profissional*. 7. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2014. Acesso em: 19 fevereiro 2025.
30. Ribeiro, A. L. P. (2019). Eletrocardiografia dinâmica (Holter): revisão actualizada. *Revista Médica de Minas Gerais*, 16(2), 123–132. <https://rmmg.org/exportar-pdf/263/v16n2a08.pdf>
31. Roth, G. A., Mensah, G. A., Johnson, C. O., & et al. (2020). Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019: Update From the GBD 2019 Study. *Journal of the American College of Cardiology*, 76(25), 2982–3021. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.010>
32. SANTOS, P. et al. Coexistência de doenças infecciosas e não transmissíveis em Moçambique: desafios clínicos. *Health Science Journal of Mozambique*, 2020.
33. SOMMERVILLE, I. *Engenharia de software*. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2011.
34. SOMMERVILLE, I. *Software Engineering*. 8th ed. Boston: Addison-Wesley, 2007.
35. Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Portisini, A. (2015). Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer Networks*, 76, 146–164. DOI: 10.1016/j.comnet.2014.11.008
36. Tan, S. C. W., Zheng, B.-B., Tang, M.-L., Chu, H., Zhao, Y.-T., & Weng, C. (2025). Global Burden of Cardiovascular Diseases and its Risk Factors, 1990-2021: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *QJM: Monthly Journal of the Association of Physicians*, 118(6), 411–422. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcaf022>
37. UBIDOTS. Plataforma IoT para visualização de dados em tempo real. Disponível em: <https://ubidots.com>. Acesso em: 3 nov. 2025.
38. VOS, T. et al. Global gender disparities in cardiovascular diseases. *Global Heart*, 2020. Disponível em: <https://www.globalheartjournal.org/vos2020>. Acesso em: 6 maio 2025.

39. WANG, X.; LIU, Y.; ZHANG, P. Real-time health monitoring using IoT and cloud computing. *Journal of Medical Systems*, v. 44, n. 2, 2020.
40. WHO. (2020, November 17). EM MOÇAMBIQUE CERCA DE 1/3 DAS MORTES SÃO DEVIDAS ÀS DOENÇAS NÃO TRANSMISSÍVEIS: Revela o Ministro da Saúde durante o lançamento do Plano Multissetorial de Prevenção e Controlo das DNT | OMS | Escritório Regional para a África. <https://www.afro.who.int/pt/news/em-mocambique-cerca-de-13-das-mortes-sao-devidas-doencas-nao-tramissiveis-revela-o-ministro-da>
41. WHO. (2025a, July 31). Cardiovascular diseases (CVDs) | World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
42. WHO. (2025b, September 25). Noncommunicable diseases | World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
43. Zhang, J., Jin, Y., Jia, P., Li, N., & Zheng, Z.-J. (2021). Global Gender Disparities in Premature Death from Cardiovascular Disease, and Their Associations with Country Capacity for Noncommunicable Disease Prevention and Control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10389. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910389>
44. Zhu, J. Z., Manne-Goehler, J., Agarwal, A., Bahendeka, S. K., Damasceno, A., Marcus, M. E., Moghaddam, S. S., Vollmer, S., Huffman, M. D., & Flood, D. (2023). Medication Use for Cardiovascular Disease Prevention in 40 Low- and Middle-Income Countries. *Journal of the American College of Cardiology*, 81(6), 620–622. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.12.003>

ANEXOS

Anexo 1: Classes principais do sistema

1. Classe SensorECG

- **Descrição:** Responsável pela aquisição dos sinais eléctricos cardíacos.
- **Atributos:**
 - *amplitudeSinal (float)*
 - *frequenciaSinal (float)*
 - *estadoSensor (boolean)*
- **Métodos:**
 - *lerSinal()*: Captura o sinal do ECG em tempo real.
 - *filtrarSinal()*: Aplica filtros para reduzir ruído.
 - *calibrarSensor()*: Inicializa ou ajusta parâmetros do sensor.

2. Classe NodeMCU_ESP8266

- **Descrição:** Gateway central do sistema que processa dados e envia para a nuvem.
- **Atributos:**
 - *ssid (String)*
 - *password (String)*
 - *tokenUbidots (String)*
 - *estadoConexao (boolean)*
- **Métodos:**
 - *conectarWiFi()*: Estabelece ligação à rede.
 - *publicarMQTT(dado)*: Envia dados para a plataforma *Ubidots*.
 - *receberComando()*: Recebe comandos do *dashboard* ou do servidor.

3. Classe PlataformaUbidots

- **Descrição:** Sistema na nuvem que recebe, armazena e disponibiliza os dados.
- **Atributos:**
 - *dispositivoID (String)*
 - *variavelECG (float)*
 - *historicoDados (Array)*

- **Métodos:**
 - armazenarDado(dado): Guarda os dados recebidos.
 - gerarGrafico(): Cria visualização em tempo real.
 - enviarAlerta(): Notifica quando parâmetros cardíacos estão fora do normal.

4. Classe *DashboardWeb*

- **Descrição:** Interface visual acessível pelo profissional de saúde.
- **Atributos:**
 - usuarioID (*String*)
 - visualizacaoActual (*String*)
 - alertas (*Array*)
- **Métodos:**
 - mostrarECG(): Exibe a forma de onda do ECG em tempo real.
 - configurarAlertas(): Define limites e notificações.
 - exportarDados(): Permite download do histórico.

5. Classe *Usuario*

- **Descrição:** Representa o paciente e o profissional de saúde que interage com o sistema.
- **Atributos:**
 - nome (*String*)
 - tipoUsuario (*String*) – paciente ou profissional
 - senha (*String*)
- **Métodos:**
 - *login()*: Autentica o utilizador.
 - visualizarHistorico(): Permite consultar dados anteriores.
 - receberAlerta(): Notifica alterações críticas nos sinais cardíacos.

Anexo 2: Requisitos funcionais

Ref	Descrição	Prioridade	Critério de Aceitação
RF01	Capturar sinais ECG em tempo real através do sensor AD8232	Alta	O sistema deve exibir o sinal ECG continuamente, com actualização mínima de 1 segundo
RF02	Transmitir os dados colectados para a plataforma na nuvem via <i>Wi-Fi</i>	Alta	Os dados devem ser enviados com latência máxima de 5 segundos
RF03	Visualizar gráficos de ECG em <i>dashboards</i> acessíveis por computador e dispositivos móveis	Alta	O <i>dashboard</i> deve exibir dados em tempo real, incluindo histórico de medições
RF04	Gerar alertas automáticos quando forem detectados padrões anormais no ECG	Alta	Alertas devem ser emitidos para médico/enfermeiro em até 10 segundos após detecção
RF05	Registrar histórico de medições cardíacas para análise e tomada de decisão	Média	O sistema deve armazenar pelo menos 30 dias de dados históricos
RF06	Permitir configuração de parâmetros de monitoria e alarmes	Média	O utilizador pode definir limites de frequência cardíaca e outros parâmetros
RF07	Garantir autenticação de utilizadores antes de acessar os <i>dashboards</i>	Alta	Apenas profissionais autorizados conseguem acessar o sistema
RF08	Enviar notificações para dispositivos móveis em caso de alertas críticos	Alta	Notificação deve chegar em menos de 15 segundos após o evento
RF09	Integrar dados com sistemas hospitalares existentes	Baixa	O sistema deve permitir exportação em formatos compatíveis (CSV, JSON)

Tabela A2 - 1. Apresentação dos requisitos funcionais

Fonte: Elaborado pelo Autor

Anexo 3: Requisitos não funcionais

Ref	Descrição	Prioridade	Critério de Aceitação
RNF01	Disponibilidade contínua do sistema 24/7	Alta	O sistema deve ter uptime mínimo de 99% por mês
RNF02	Criptografia de dados em trânsito e em repouso	Alta	Todos os dados devem ser transmitidos e armazenados
RNF03	Interface intuitiva e de fácil utilização	Média	Profissionais conseguem acessar <i>dashboards</i> e relatórios sem treinamento extensivo
RNF04	Escalabilidade para adicionar novos sensores e pacientes	Alta	O sistema deve suportar pelo menos 50 pacientes simultaneamente
RNF05	Latência mínima na transmissão de dados do sensor para a nuvem	Alta	Tempo máximo entre captura do ECG e exibição no <i>dashboard</i> : 5 segundos
RNF06	Capacidade de armazenamento histórico mínimo de 1 ano	Média	O sistema deve manter dados por 12 meses sem perda
RNF07	Suporte técnico e manutenção preventiva	Média	O fornecedor deve fornecer suporte dentro de 24 horas e actualizações periódicas
RNF08	Consumo eficiente de energia nos sensores e microcontroladores	Média	Dispositivos devem operar continuamente por pelo menos 48 horas com bateria recarregável
RNF09	Compatibilidade com múltiplos navegadores e dispositivos móveis	Média	O <i>dashboard</i> deve funcionar corretamente em Chrome, Firefox, Edge, Android e iOS

Tabela A3 - 1. Apresentação dos requisitos não funcionais

Fonte: Elaborado pelo Autor

Anexo 4: Plano de Instalação

Etapa	Descrição	Responsável	Recursos Necessários	Tempo Estimado
1	Preparação do ambiente e verificação de rede Wi-Fi	Técnico de Instalação	Roteador, conexão à Internet	1 hora
2	Montagem do hardware (NodeMCU + Sensor AD8232 + Eletrodos)	Técnico de <i>Hardware</i>	Kit NodeMCU, cabos <i>jumper</i> , <i>breadboard</i> , elétrodos	2 horas
3	Instalação do Arduino IDE e bibliotecas necessárias	Engenheiro de <i>Software</i>	Computador, <i>software</i> Arduino IDE, bibliotecas ESP8266 e PubSubClient	1 hora
4	Configuração do <i>firmware</i> e upload do código	Engenheiro de <i>Software</i>	Cabo USB, <i>firmware</i> do sistema	30 minutos
5	Teste de comunicação com a plataforma <i>Ubidots</i>	Técnico de IoT	Conta <i>Ubidots</i> , credenciais MQTT	45 minutos
6	Validação do sistema e treinamento do utilizador	Engenheiro de Projecto	Manual de operação, laptop	1 hora

Tabela A4 - 1. Apresentação do plano de instalação

Fonte: Elaborado pelo Autor

Anexo 5: Plano de manutenção preventiva

Actividade	Descrição	Periodicidade	Responsável	Observações
Verificação dos sensores de ECG	Testar e limpar os eléctrodos, assegurando boa aderência e captação do sinal	Semanal	Técnico Biomédico	Substituir eléctrodos se desgaste for notado
Inspeção das conexões eléctricas	Checar conexões entre NodeMCU, sensor e cabos jumper	Quinzenal	Técnico de <i>Hardware</i>	Evitar falsos contactos
Actualização de <i>firmware</i>	Verificar e instalar actualizações do código no NodeMCU	Mensal	Engenheiro de <i>Software</i>	Garantir compatibilidade com <i>Ubidots</i>
Teste de conectividade <i>Wi-Fi</i>	Avaliar estabilidade da rede e reconexão automática	Quinzenal	Técnico de Redes	Corrigir falhas de sinal ou roteador
Backup de dados e logs	Armazenar registos de medições e eventos	Mensal	Administrador do Sistema	Utilizar servidor seguro
Calibração do sistema	Confirmar precisão das leituras e ajustar limiares de sinal	Trimestral	Engenheiro Biomédico	Testar com simulador de sinal ECG

Tabela A5 - 1. Apresentação do plano de manutenção preventiva

Fonte: Elaborado pelo Autor

Anexo 6: Perguntas de entrevista

1. Como descreve a situação actual das doenças cardiovasculares no Hospital Geral de Mavalene? (ex.: número de casos, impacto nos serviços, perfil dos pacientes)
2. Quais são as principais dificuldades que o hospital enfrenta no acompanhamento e tratamento dos pacientes com doenças cardiovasculares?
3. O Hospital possui algum tipo de equipamento e/ou sistema de monitoria cardíaca? Se sim, descreva-as...
4. Se sim (para a pergunta 3), então: os equipamentos e/ou sistemas em causa conseguem abranger a todos os pacientes, isto é, são suficientes para abranger a todos pacientes? E, tem sido eficazes?
5. Que limitações têm sido encontradas com os sistemas ou equipamentos existentes? (ex.: custo de manutenção, acessibilidade, cobertura de pacientes, fiabilidade dos dados)
6. O Hospital possui actualmente condições tecnológicas e de infraestrutura para adoptar um sistema inovador (de monitoria cardíaco)? (ex.: rede de internet, equipamentos, recursos humanos capacitados)
7. Existe abertura, por parte da Direcção do Hospital, para adoptar soluções digitais inovadoras no setor da cardiologia?

Anexo 7: Inquérito

Questionário para Levantamento de Dados

Primeiramente agradecer por dedicar o seu tempo para participar deste questionário. O objectivo do questionário é obter informações sobre o estado da monitoria cardíaca no Hospital Geral de Mavalane.

É de ressaltar que todas as informações fornecidas serão fundamentais e utilizadas para fins académicos relacionados a elaboração do Trabalho de Licenciatura com o tema "Desenvolvimento de Sistemas de Monitoria Cardíaca Baseados em IoT para Prevenção de Doenças Cardiovasculares".

As respostas dadas não serão divulgadas ou compartilhadas com terceiros, sendo só utilizadas para fins investigação para o trabalho de culminação do curso!

Por favor, responda às perguntas abaixo de acordo com sua experiência e área de especialização:

Parte A - Dados Demográficos

1. Categoria: a) Médico(a) b) Enfermeiro(a) c) Técnico(a) de Cardiologia d) Outro
2. Género: a) Masculino b) Feminino
3. Idade: a) Menos de 25 anos b) 25 – 40 anos c) 41 – 60 anos d) Mais de 60 anos

Parte B - Situação Actual das Doenças Cardiovasculares (DCV)

4. Quais as doenças cardiovasculares mais frequentes que observa no Hospital Geral de Mavalane? a) Hipertensão arterial b) Insuficiência cardíaca c) Arritmias d) Doença arterial coronária e) Outro
5. Qual o principal factor de risco associado às DCV entre os pacientes do hospital? a) Alimentação inadequada b) Sedentarismo c) Tabagismo/Álcool d) Falta de acompanhamento médico e) Outro
6. O número de casos de DCV tem: a) Aumentado b) Diminuído c) Mantido-se estável

Parte C - Monitoria das DCV

7. O hospital possui actualmente algum sistema de monitoria cardíaco? a) Sim b) Não
8. Que tipo de sistema de monitoria é utilizado? a) ECG convencional b) Holter 24h c) Telemetria hospitalar d) Ecografia cardíaca e) Outro

9. Quais as limitações dos sistemas de monitoria actualmente disponíveis? a) Custos elevados b) Dificuldade de manutenção c) Acesso restrito a poucos pacientes d) Dados não centralizados e) Outro

Parte D - Aceitação de um Sistema IoT para Monitoria Cardíaco

As soluções digitais para monitoria cardíaca, incluem plataformas de telemedicina para consultas médicas online e análise de exames à distância, algoritmos de inteligência artificial para interpretação automatizada de exames de eletrocardiogramas (ECG) e sistemas de armazenamento em nuvem para registro e compartilhamento de dados de monitoria cardíaca.

10. Acredita que um sistema de monitoria cardíaco baseado em IoT seria benéfico para o hospital? a) Sim b) Talvez c) Não
11. Que vantagens identifica num sistema de monitoria baseado em IoT? a) Monitoria remoto em tempo real b) Redução de complicações graves c) Melhoria na gestão do histórico clínico d) Aumento da eficiência no atendimento e) Outras
12. Quais desafios considera relevantes para a implementação de um sistema IoT no HGM? a) Custos de implementação b) Infraestrutura tecnológica limitada c) Resistência por parte dos profissionais de saúde d) Privacidade e segurança dos dados e) Outros

Parte E - Sugestões

13. Que funcionalidades gostaria de ver incluídas num sistema de monitoria cardíaco baseado em IoT?
14. Que recomendações faria para garantir o sucesso da implementação de tal sistema no Hospital Geral de Mavalene?