

**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO**

Ezequiel Manuel Muxito

**INTERNET DAS COISAS E REDE MÓVEL APLICADAS
PARA A CRIAÇÃO DE DISPOSITIVO DE
MONITORAMENTO DO CORAÇÃO ARTIFICIAL**

São Paulo
2024

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO

Ezequiel Manuel Muxito

INTERNET DAS COISAS E REDE MÓVEL APLICADAS
PARA A CRIAÇÃO DE DISPOSITIVO DE
MONITORAMENTO DO CORAÇÃO ARTIFICIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica e Computação.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Akamine

São Paulo
2024

M941i Muxito , Ezequiel Manuel
Internet das coisas e rede móvel aplicadas para a criação de
dispositivo de monitoramento do coração artificial/ Ezequiel Manuel
Muxito

4,1 MB

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação) –
Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Akamine

Bibliografia: f. 79-85

1. Internet das Coisas 2. Rede móvel 3. Saúde 4.0 4. Coração Artificial I Akamine, Cristiano II. Título

CDD 004.6

Bibliotecária responsável: Maria Gabriela Brandi Teixeira – CRB 8 / 6339

Folha de Identificação da Agência de Financiamento

Autor: Ezequiel Manuel Muxito

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Elétrica e Computação

Título do Trabalho: Internet das Coisas e Rede Móvel Aplicadas para a Criação de Dispositivo de Monitoramento do Coração Artificial

O presente trabalho foi realizado com o apoio de ¹:

- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
- Instituto Presbiteriano Mackenzie/Isenção integral de Mensalidades e Taxas
- MACKPESQUISA - Fundo Mackenzie de Pesquisa
- Empresa/Indústria:
- Outro:

¹ **Observação:** caso tenha usufruído mais de um apoio ou benefício, selecione-os.

EZEQUIEL MANUEL MUXITO

INTERNET DAS COISAS E REDE MÓVEL APLICADAS PARA A CRIAÇÃO DE
DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DO CORAÇÃO ARTIFICIAL

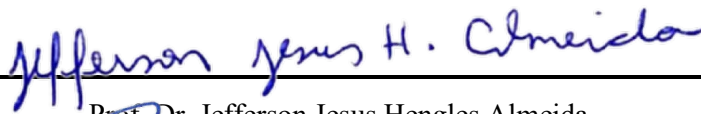
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica e Computação.

Aprovada em 01 de agosto de 2024.

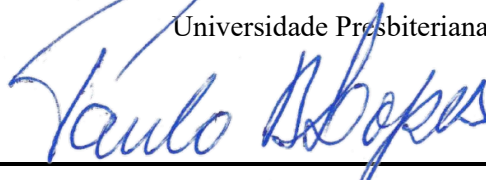
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cristiano Akamine
Universidade Presbiteriana Mackenzie



Prof. Dr. Jefferson Jesus Hengles Almeida
Universidade Presbiteriana Mackenzie



Prof. Dr. Paulo Batista Lopes
Instituto Mackenzie de Pesquisas em Grafeno e Nanotecnologias

*Ser vencedor é correr pelos sonhos sabendo que haverá quedas fortes e momentos desafiadores. Melhor que estar estagnado é levantar e andar, mesmo que seja coxeando até chegar ao destino.
(Autor)*

*Criamos nosso próprio destino pela maneira com a qual fazemos as coisas. Temos que aproveitar as oportunidades e sermos responsáveis pelas nossas escolhas.
(Ben Carson)*

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão a CAPES pela bolsa a mim concedida e ao Fundo Mackenzie de Pesquisa e Inovação (MackPesquisa) por ter fomentando o projeto sobre o coração artificial.

Agradeço a Deus pela vida, pelo Seu cuidado constante e pelas inúmeras bênçãos que Ele tem derramado sobre mim.

Àquele que tem sido mais que um mentor, meu irmão Ernesto Muxito, quero dedicar palavras de sincero agradecimento. Ele não apenas foi um amigo, mas também o generoso patrocinador de toda a minha educação, possibilitando cada passo no meu percurso acadêmico. Sua contribuição tem sido inestimável, muitos dos meus feitos não seriam realizáveis.

Minha mãe, sra. Madalena João Nhangá, merece uma gratidão especial. Ela me transmitiu valores fundamentais e a crença inabalável em mim mesmo. Sua frase “filho, crescer dói” ecoou em meus ouvidos, tornando-se um lembrete constante de que a jornada da vida é repleta de desafios, mas desistir não é uma opção. Aos meus irmãos e irmãs, primos e sobrinhos, quero expressar minha gratidão por serem fontes contínuas de motivação para eu me tornar uma pessoa melhor. Como primeiro membro da família a frequentar uma faculdade, cresceu em mim o desejo de ser fonte de inspiração para aqueles que buscam orientação.

Não posso deixar de agradecer ao Professor Dr. Cristiano Akamine por sua orientação, apoio e conhecimento compartilhado de maneira tão generosa. Sua simpatia e dedicação são fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Aos meus amigos, expresso gratidão. O apoio e a amizade têm sido inestimáveis em minha jornada. Muito obrigado a todos por fazerem parte da minha vida e por contribuírem para o meu crescimento e sucesso.

RESUMO

A utilização de sensores para monitoramento dos paciente com Insuficiência Cardíaca (IC), pauta-se na análise do progresso científico e tecnológico acerca da *Internet of Things* (IoT), aplicado como uma perspectiva inovadora no conceito de Saúde 4.0. Esta dissertação contribuiu no dispositivo de monitoramento do *Left Ventricular Assist Devices* (LVAD) fomentado pela MackPesquisa. O foco principal reside no sensoriamento avançado, conectividade via rede móvel e suporte remoto à supervisão, direcionando-se à operação e diagnóstico de pacientes afetados com IC. O projeto incorpora o uso de ferramentas avançadas para coleta, processamento e análise de dados, empregando conceitos de *Big Data* e *Data Analytics*. O protótipo compreende a configuração de um microcontrolador, sensores de batimento cardíaco para monitoramento preciso, um acelerômetro para coleta de dados de movimentos, aceleração e detecção de quedas, além de um módulo de rede móvel para a transmissão eficiente de dados e segura, com a aplicação de técnicas avançadas de segurança da informação. A análise meticulosa dos dados obtidos possibilitou o monitoramento contínuo da saúde dos pacientes, facilitou diagnósticos mais precisos, fornecendo um histórico abrangente da saúde dos pacientes ao longo do tempo. Os experimentos analisaram *dataset* com 472 registros, aplicados modelos de *Machine Learning* (ML) para monitorar a rotina dos pacientes a partir de indicadores como batimentos cardíacos, inclinação, queda e movimentos. Os resultados da pesquisa compreendem uma vasta gama de informações que contribuem para a compreensão dos padrões comportamentais dos pacientes, permitindo a identificação de fatores que podem influenciar o sucesso do tratamento clínico e a implementação de estratégias mais eficazes de monitoramento e intervenção. Os modelos e técnicas de ML como: Regressão Linear, Regressão Logística, Árvore de Decisão, Floresta Aleatória, *XGBoost* e KNN, apresentam resultados que evidenciam um estudo comparativo que avaliou seus desempenhos. A análise indicou que Regressão Linear obteve acurácia de 100% e precisão de 23.62%, e Floresta Aleatória obteve acurácia de 100% e precisão de 23.47%, o que resultou em uma pontuação superior em comparação com outros algoritmos de ML., além disso, verificou-se a instabilidade dos sensores de batimentos cardíacos utilizados durante a coleta de dados, sendo que o sensor de pulso fotodetector mostrou-se mais estável.

Palavras-chave: *Internet das Coisas, Rede Móvel, Saúde 4.0, Coração Artificial*

ABSTRACT

The use of sensors to monitor patients with heart failure is based on an analysis of scientific and technological progress in the field of IoT, applied as an innovative perspective in the concept of Health 4.0. This dissertation contributed to the LVAD monitoring device promoted by MackPesquisa. The main focus lies on advanced sensing, mobile network connectivity and remote supervision support, targeting the operation and diagnosis of patients affected by HF. The project incorporates the use of advanced tools for data collection, processing and analysis, employing Big Data and Data Analytics concepts. The prototype comprises the configuration of a microcontroller, heartbeat sensors for precise monitoring, an accelerometer for collecting data on movements, acceleration and fall detection, as well as a mobile network module for efficient and secure data transmission, with the application of advanced information security techniques. Meticulous analysis of the data obtained made it possible to continuously monitor patients' health, facilitate more accurate diagnoses and provide a comprehensive history of patients' health over time. The experiments analyzed datasets with 472 records, applying ML models to monitor patients' routines based on indicators such as heart rate, inclination, fall and movement. The results of the research comprise a wide range of information that contributes to the understanding of patients' behavioral patterns, allowing the identification of factors that can influence the success of clinical treatment and the implementation of more effective monitoring and intervention strategies. Models and techniques such as: Linear Regression, Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, XGBoost and KNN, present results that show a comparative study that evaluated their performance. The analysis indicated that Linear Regression obtained an accuracy of 100% and precision of 23.62%, and Random Forest obtained an accuracy of 100% and precision of 23.47%, which resulted in a higher score compared to other algorithms. In addition, the instability of the heartbeat sensors used during data collection was verified, with the photodetector pulse sensor proving to be more stable.

Keywords: *Internet of Things, Mobile Network, Health 4.0, Artificial Heart*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	Internet das Coisas	7
2.2	Dispositivos Eletrônicos	9
2.3	Redes e Conectividade	10
2.4	Protocolos de Comunicação	13
2.5	Armazenamento e Computação em Nuvem	15
2.6	Processamento e <i>Data Analytics</i>	15
2.6.1	<i>Big Data</i> e <i>Data Science</i>	16
2.6.2	<i>Data Mining</i>	17
2.6.3	<i>Data Analytics</i>	20
2.7	Doenças Cardiovasculares	22
2.7.1	Funcionamento do Coração	23
2.7.2	Insuficiência Cardíaca	23
2.8	Saúde 4.0	25
2.8.1	Dependência Artificial	25
2.8.2	Coração Artificial	26
2.8.3	Projeto MackPesquisa	29
3	TRABALHOS RELACIONADOS	32
4	MATERIAIS E RESULTADOS	35
4.1	MATERIAIS	35
4.1.1	Protótipo do Projeto	35
4.1.2	Módulo <i>Raspberry Pi Pico W</i>	38
4.1.3	Desenvolvimento de Códigos	41

4.2	RESULTADOS	44
4.2.1	Configurações de Componentes	45
4.2.2	API Restful	55
4.2.3	Coleta de Dados	58
4.2.4	Segurança de Dados	68
4.2.5	Visualização e Análise de Dados	71
4.2.6	Modelo de Inteligência Artificial	73
5	CONCLUSÃO	76
5.1	ARTIGO PUBLICADO	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

Lista de Figuras

1	Camadas da <i>internet</i> das coisas.	8
2	Participação de mercado da rede 4G das operadoras de celular.	12
3	Exemplo de comunicação entre os dispositivos na rede usando protocolo <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT).	14
4	As etapas do processo <i>Knowledge Discovery Database</i> (KDD).	18
5	Tarefas e técnicas de mineração de dados.	19
6	Infraestrutura de <i>data analytics</i>	22
7	Dispositivo LVAD <i>Jarvik 2000</i>	27
8	Dispositivo LVAD <i>HeartWare</i>	28
9	Dispositivo LVAD <i>HeartMate 3</i>	28
10	Arquitetura proposta para a implementação do projeto.	36
11	Arquitetura do objeto <i>data.json</i> de retorno da requisição.	38
12	Arquitetura do módulo <i>Raspberry Pi Pico W</i>	39
13	<i>Sketch</i> programação dos módulos.	43
14	Modelo de dados armazenado no banco de dados do <i>MongoDB atlas</i>	44
15	Esquema do protótipo MX-E9 na versão 1.1.	46
16	PCB da placa MX-E9 na versão 1.1.	47
17	Funcionamento da placa MX-E9 na versão 1.1.	48
18	Modelo de dados coletados pelo sensor de frequência cardíaca AD8232 Eletrocardiograma (ECG).	50
19	Eixos do sensor acelerômetro ADXL345.	53
20	Modelo de dados de movimento coletados pelo sensor acelerômetro ADXL345.	54
21	Modelo do objeto para o envio a <i>Application Programming Interface</i> (API) contendo os dados coletados dos sensores.	55
22	Modelo de especificação do protótipo.	56
23	<i>End point</i> da API para salvar os dados no banco.	57
24	Modelo de alerta de emergência do serviço de notificação de coração artificial.	58
25	Volume de dado coletado por cada tipo de sensor.	59
26	Arquitetura para coleta de dados.	60
27	Diagrama de configuração de um sistema de filtros.	62
28	Arquitetura aplicada para salvar dados de registro.	66

29	Métodos e lógica de envio e de registo de dados.	67
30	Arquitetura de segurança de dados.	69
31	Arquitetura de criptografia e descriptografia de dados. . . .	70
32	Armazenamento dos dados criptografados.	70
33	Modelo de visualização de dados do <i>jupyter notebook</i>	71
34	Matriz de correlação do conjunto de dados de monitoramento.	72
35	Distribuição do ritmo cardíaco em função dos movimentos.	73
36	Arquitetura de análise e treinamento dos dados.	74

Lista de Tabelas

1	Lista de microcontroladores e linguagem de programação. .	10
2	Sinais e sintomas da insuficiência cardíaca	24
3	Lista de componentes utilizados no protótipo do projeto. .	37
4	Especificações do <i>hardware</i> do módulo <i>Raspberry pico W</i> . .	40
5	Informações dos pacientes.	60
6	Modelo de dados coletados.	61
7	Análise dos eixos do sensor acelerômetro.	63
8	Dados de calibração do sensor acelerômetro ADXL345. . .	64
9	Dados de calibração dos sensores de batimentos cardíacos.	65
10	Análise de desempenho do modelo de previsão de insuficiência cardíaca	75

Listagens

1	Método para salvar os dados.	86
2	Classe de envio de notificação.	86
3	Método de coleta de dados dos sensores.	87
4	Software da aplicação.	87

Lista de Abreviaturas e Siglas

- ADC** *Analog-to-Digital Converter*. 49
- API** *Application Programming Interface*. vi, 5, 35, 37, 43, 45, 53, 55, 57, 66–68, 71
- Arpen-Brasil** Associação Nacional dos Registradores de Pessoas Naturais. 22
- AWS** *Amazon Web Services*. 44
- BCD** *Binary Coded Decimal*. 51
- BDE** *Big Data Ecosystem*. 16
- BDI** *Big Data Infrastructure*. 16
- BDS** *Big Data Security*. 16
- BI** *Business Intelligence*. 21
- BTT** *Bridge To Transplant Therapy*. 28
- CDH** *Cloudera Distribution for Hadoop*. 20
- CPU** *Central Processing Unit*. 9, 39
- DCV** Doenças Cardiovasculares. 1, 22
- DDDM** *Data-Driven Decision Making*. 17
- DSP** *Digital Signal Processor*. 61
- DT** *Distinction Therapy*. 28
- ECG** Eletrocardiograma. vi, 48–50
- EDGE** *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*. 11
- EE** Escola de Engenharia. 3, 29, 77
- EPROM** *Erasable Programmable Readonly Memory*. 9
- FCI** Faculdade de Computação e Informática. 3, 29, 77
- FDA** *Food and Drug Administration*. 27, 28
- FEMPAR** Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná. 3, 29, 77
- FIFO** *First In First Out*. 52
- GPIO** *General Purpose Input/Output*. 46
- GPL** *Greenest Programming Languages*. 41

GPRS *General Packet Radio Service*. 11, 50

GPS *Global Positioning System*. 57

HDF *Hortonwork Data Flow*. 20

HDP *Hortonwork Data Plataform*. 20

HFpEF *Heart Failure With Preserved Ejection Fraction*. 25

HTTP *Hypertext Transfer Protocol*. 13–15

HTTPS *Secure Hypertext Transfer Protocol*. 13–15, 55–57

I2C *Inter Integrated Circuit*. 51, 52

IaaS *Infrastructure as a Service*. 15

IC *Insuficiência Cardíaca*. ii, 1–4, 7, 15, 22–27, 29, 34, 65, 76

ICFEfm *Fração de Ejeção de Faixa Média*. 25

ICFEp *Fração de Ejeção Preservada*. 25

ICFEr *Fração de Ejeção Reduzida*. 25

IDE *Integrated Development Environment*. 42

IEEE *Institute of Electrical and Electronic Engineers*. 13

IMG *Índice de Moran Global*. 24, 34

IoT *Internet of Things*. ii, iii, 1, 3–5, 7–13, 15–17, 20, 30–33, 35, 50, 76

JSON *JavaScript Object Notation*. 13, 15, 37, 53, 56

KDD *Knowledge Discovery Database*. vi, 17, 18

LFCSP *Lead Frame Chip Scale Package*. 49

LGPD *Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais*. 68

LSB *Least Significant Bit*. 52

LTE *Long Term Evolution*. 11

LVAD *Left Ventricular Assist Devices*. ii, iii, vi, 1–3, 24–32

LVEF *Left Ventricular Ejection Fraction*. 24, 25

MackGraphe *Instituto Mackenzie de Pesquisas em Grafeno e Nanotecnologias*. 3, 29, 77

MackPesquisa *Fundo Mackenzie de Pesquisa e Inovação*. i–iv, 2, 3, 29–31, 58

MCU *Micocontrolller Unit*. 10

MIT *Massachusetts Institut of Technology.* 7

ML *Machine Learning.* ii, iii, 73, 75–77

MPP *Massively Parallel Processing.* 21

MQTT *Message Queuing Telemetry Transport.* vi, 13–15

NoSQL *Not Only Struted Query Language.* 20, 21, 43

NS2 *Software Network Simulator 2.* 33

OMS *Organização Mundial da Saúde.* 33

PEP *Prontuário Eletrônico do Paciente.* 32, 33

RAM *Random Access Memory.* 9, 51

RFID *Radio Frequency Identification.* 7

RLD *Right Leg Driving.* 49

RTC *Real-Time Communications.* 51, 52

SBC *Sociedade Brasileira de Cardiologia.* 22

SD *Secure Digital.* 67

SMT *Surface Mount Technology.* 50

SNT *Sistema Nacional de Transplantes.* 22

SPI *Serial Peripheral Interface.* 52

SQL *Structured Query Language.* 21

SRAM *Static Random Access Memory.* 51

SUS *Sistema Único de Saúde.* 2, 3, 22, 29

SWD *Serial Wire Debug.* 39

TI *Tecnologia da Informação.* 15

uC *Microcontroller.* 10

Wi-Fi *Wireless Fidelity.* 11–13, 33, 35, 38, 39, 45, 60, 66

WSN *Wireless Sensor Network.* 7

XML *Extensible Markup Language.* 13

1 INTRODUÇÃO

As Doenças Cardiovasculares (DCV)s continuam a ser uma das principais causas de morte no mundo, conforme evidenciado pela (OMS, 2020). Apesar dos avanços na ciência médica, há momentos em que a vida do coração atinge um ponto crítico, e as opções terapêuticas convencionais perdem eficácia. Em determinadas circunstâncias, o único caminho é o transplante imediato de um novo coração. No entanto, no Brasil, a falta de doadores de órgãos e os altos custos dos procedimentos de transplante cardíaco resultam numa taxa de mortalidade de cerca de 400 mil pessoas (ROCHA; TURRI; BOCK, 2020).

Diante de um cenário adverso, a tecnologia se torna uma ferramenta indispensável para a busca de soluções que auxiliem os profissionais de saúde a salvar vidas. Dentre as diversas soluções apresentadas ao longo dos anos, está o coração artificial, um dispositivo *Left Ventricular Assist Devices* (LVAD) que oferece suporte ao sistema circulatório, auxiliando no bombeamento sanguíneo pelo ventrículo comprometido. O propósito deste dispositivo é bastante simples: conectar a saída do ventrículo direito e empregar uma bomba especial para conduzir o sangue de maneira eficiente até os pulmões, sem afetar os batimentos cardíacos, como mencionado por (ROCHA; TURRI; BOCK, 2020).

A utilização de sensores *Internet of Things* (IoT) para monitorar pacientes com Insuficiência Cardíaca (IC) é uma inovação significativa na área da saúde, permitindo um acompanhamento contínuo e em tempo real das condições de saúde desses indivíduos. Os Sensores IoT são dispositivos pequenos e conectados à *internet* que podem ser incorporados ao corpo do paciente ou ao ambiente em que se encontra, permitindo a coleta de informações, tais como frequência cardíaca, inclinação, queda livre, movimentos, e outros indicadores.

Esses sensores coletam dados de forma contínua e os enviam para uma plataforma central, onde são armazenados e analisados. A análise desses dados pode ser realizada por algoritmos avançados, que detectam padrões e anomalias, permitindo uma intervenção médica precoce, antes que a condição do paciente se agrave. Além disso, o monitoramento remoto oferece mais conveniência para o paciente, reduzindo a necessidade de visitas constantes ao hospital e melhorando a qualidade de vida.

O uso de sensores IoT para monitorar pacientes com IC é um passo em direção à

medicina personalizada e preditiva, onde o tratamento pode ser adaptado às necessidades específicas de cada paciente, com base em dados precisos e atualizados. Essa tecnologia também possibilita uma administração mais eficiente dos recursos de saúde, otimizando o tempo e os esforços dos especialistas em saúde, ao mesmo tempo, em que proporciona aos pacientes um acompanhamento mais atento e personalizado.

Esta pesquisa está relacionada ao projeto fomentado pelo Fundo Mackenzie de Pesquisa e Inovação (MackPesquisa). O presente trabalho tem como foco o desenvolvimento de *hardware* e *framework* baseado no sensoriamento para a criação de um dispositivo eletrônico com conectividade que permita a coleta de sinais vitais e, conseqüentemente, a análise dos dados para o monitoramento e acampamento dos pacientes. Os dados coletados são enviados para análise clínica, possibilitando ajustes necessários no sistema de controle do coração artificial, representando um avanço promissor na busca por soluções que preservem a vida.

1.1 Justificativa

A problema de IC é uma das causas que eleva a taxa de mortalidade no mundo. Vários estudos mostram que a taxa de pacientes internados em decorrência desse problema atinge uma cifra superior a 50% em um ano, sendo a taxa de mortalidade entre 10 e 15%, tornando-se, dessa forma, um dos mais importantes desafios de saúde pública (MESQUITA et al., 2017). O alto custo nos procedimentos de transplante de órgãos assim como a escassez de doadores de órgãos são fatores determinantes para tornar a solução do problema ainda mais complexa.

Diante desse cenário, a motivação deste projeto está na busca por inovação tecnológica para a área da saúde, bem como a contribuição ao Sistema Único de Saúde (SUS). O desenvolvimento de um LVAD com recursos avançados - com coleta, transmissão e análise de dados, obtidos por meio de sensores - é uma abordagem promissora. Isso permitirá o monitoramento da saúde dos pacientes e a criação de listas de contatos de emergência, melhorando o gerenciamento de pacientes com IC.

A utilização de ferramentas de *Big Data*, *Data Science* e *Data Analytics* é fundamental para o projeto, pois essas tecnologias permitem armazenar, analisar e apresentar os

resultados obtidos a partir dos dados coletados. Isso pode incluir a análise de sinais vitais e outros dados relevantes para o funcionamento do coração artificial e o monitoramento da saúde dos pacientes.

Esta pesquisa, portanto, tem o potencial de impactar positivamente a área da saúde, tornando o tratamento da IC mais acessível, eficaz e personalizado, especialmente no contexto do SUS. Além disso, a utilização de tecnologias avançadas de dados pode levar a uma melhor compreensão da condição e, conseqüentemente, a melhores resultados para os pacientes.

O projeto n.º 231018 para desenvolvimento de um LVAD é voltado para atender problemas e necessidades reais do sistema de saúde pública. A pesquisa visa desenvolver um dispositivo LVAD mecânico (coração artificial), com conexão de dados, suporte remoto à supervisão, operação e diagnóstico de pacientes portadores de IC. O projeto foi apresentado pelo Instituto Mackenzie de Pesquisas em Grafeno e Nanotecnologias (Mack-Graph) em parceria com Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná (FEMPAR), Escola de Engenharia (EE) e Faculdade de Computação e Informática (FCI), o que permite ao projeto coletar um volume de dados significativos, além de outros benefícios como, por exemplo, a possibilidade de um ambiente de estudo de caso para levantamento de requisitos do protótipo, orientações especializadas e, principalmente, laboratórios para testes do protótipo construído.

1.2 Objetivos

Os objetivos gerais e específicos do projeto são bem definidos e direcionados para a aplicação de tecnologia IoT na área de Saúde 4.0, especificamente no contexto do monitoramento de pacientes com IC.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é a aplicação de sensores IoT no dispositivo LVAD do projeto Mack-Pesquisa para coleta, transmissão, armazenamento, processamento e análise dos dados. Isso visa ao monitoramento da saúde e rotina dos pacientes com IC. Este objetivo geral aborda a necessidade de inovação tecnológica na área de saúde e o uso de IoT para

melhorar o gerenciamento de pacientes com IC.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Desenvolver um protótipo para a coleta dos sinais vitais do coração biológico por meio de sensores, sendo a transmissão de dados realizada por rede móvel. Esse objetivo se concentra na implementação prática do sistema de coleta e transmissão de dados a partir da tecnologia de conectividade, móvel e sensores, garantindo que os sinais vitais do coração sejam capturados eficientemente;
2. Elaborar e aplicar a arquitetura proposta na criação do protótipo. Esse objetivo refere-se à configuração de uma arquitetura eficaz para coleta e transmissão de dados, usando a conectividade de rede móvel, o que é fundamental para o monitoramento remota;
3. Aplicar a computação em nuvem para armazenamento escalável dos dados. Aqui, a ênfase está na escolha de um sistema de armazenamento escalável baseado em nuvem, o que permite o armazenamento dos dados coletados de forma segura;
4. Aplicação das técnicas de *Data Science* e *Data Analytics* para a análise do repositório de dados. Esse objetivo é crucial para analisar dados coletados do coração biológico, permitindo a compreensão das rotinas do paciente por meio do conceito de monitoramento remoto e supervisão.

1.3 Metodologia

Inicialmente, a pesquisa envolve a busca em bibliografias referentes à área de IoT, Saúde 4.0, conectividade e coração artificial, incluindo os conceitos de *Cloud Computing*, *Big Data*, *Data Science* e *Data Analytics*. A revisão na literatura é um etapa significativa para a compressão das discussões nos *Fóruns* científicos sobre os assuntos abordados nesta pesquisa.

A execução deste projeto pautou-se na criação de um dispositivo protótipo IoT com *Raspberry Pi Pico W*, sensores e conectividade para a coleta e transmissão dos dados. Os dados foram coletados pelo dispositivo de monitoramento do coração artificial placa

MX-E9 v1.1/2024, o desenvolvimento de uma *Application Programming Interface* (API), a configuração de um *cluster* para armazenamento de dados no servidor da nuvem (*MongoDB Atlas*) e a criação de um *Notebook* para visualização e análise dos dados.

A segurança dos dados coletados foi assegurada com a implementação das camadas de segurança, que visaram assegurar a integridade dos dados sensíveis dos pacientes. Além disso, um serviço de notificações foi criado para informar os acidentes e incidentes que ocorreram nas rotinas dos pacientes, enviando mensagens para os contatos de emergência cadastrados na base de dados.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este projeto está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução, justificativa, objetivos e metodologia: esse capítulo estabelece o contexto da pesquisa e define os objetivos gerais e específicos, justificativa e metodologia do projeto. Ele fornece uma introdução sólida ao problema e à motivação para a pesquisa.

Capítulo 2 - Referencial Teórico: nesse capítulo, são definidos os conceitos e fundamentos teóricos relevantes para a pesquisa. Isso inclui informações sobre IoT, dispositivos eletrônicos, redes, conectividade, protocolos de comunicação, armazenamento em nuvem, computação em nuvem, processamento e técnicas de análise de dados (*Big Data, Data Science, Data Mining e Data Analytics*). Além disso, conceitos específicos relacionados à Saúde 4.0, coração artificial e doenças cardiovasculares são apresentadas nesse capítulo. Esse capítulo estabelece uma base sólida para o entendimento da pesquisa.

Capítulo 3 - Revisão de Trabalhos Correlatos: nesse capítulo, são apresentados trabalhos relacionados na literatura que abordam temas relevantes para a pesquisa. Isso ajuda a posicionar este estudo em relação ao que já foi feito anteriormente, além de destacar sua contribuição única.

Capítulo 4 - Materiais e Resultados: esse capítulo detalha os materiais utilizados no projeto, incluindo a definição da arquitetura e do modelo, o protótipo da solução proposta e as tecnologias utilizadas. Ele fornece informações detalhadas sobre como a pesquisa foi conduzida. Também demonstra os resultados obtidos na pesquisa, incluindo os resultados preliminares, como a criação da API, a configuração de servidores de banco de dados na

nuvem, a configuração do módulo *Raspberry Pi Pico W* e sensores, a coleta e transmissão de dados, o armazenamento e a análise de dados, a implementação de sistemas de alerta de emergência. Este capítulo é o cerne dos resultados da pesquisa.

Capítulo 5 - Conclusão: esse capítulo encerra o trabalho, fornecendo as considerações finais com base nos resultados obtidos. Também aborda a contribuição do trabalho para a ciência, tecnologia e medicina. É um resumo das descobertas e do impacto da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta pesquisa tem como o foco o desenvolvimento de *hardware* e *framework* baseados em sensoriamento, que consiste na implementação de um protótipo para coleta e transmissão de dados, tais como, batimentos cardíacos e movimentos, inclinação e queda, por meio de dispositivos eletrônicos (módulo *Raspberry Pi Pico W*) e sensores IoT. Também se refere ao conceito de Saúde 4.0, que se relaciona com a aplicação de tecnologias digitais avançadas na área da saúde, técnicas de ciência e análise de dados, computação em nuvem e transmissão de dados por meio de conexão usando tecnologia de rede móvel.

A plataforma apresentada é uma plataforma de IoT, robusta e com uma arquitetura simples para atender às necessidades do projeto e fornecer uma solução para o problema em questão, sendo que o monitoramento dos pacientes com IC é feito por meio de um coração artificial.

2.1 Internet das Coisas

É importante lembrar as raízes da IoT, rastreando a sua origem até o laboratório *Auto-ID Center* do *Massachusetts Institut of Technology* (MIT) fundado em 1999. Um grupo de pesquisadores trabalhava no uso de campo de identificação por radiofrequência *Radio Frequency Identification* (RFID) e rede de sensores sem fio *Wireless Sensor Network* (WSN) quando, pela primeira vez Kevin Ashton, pesquisador e cofundador da *Auto-ID Center Labs*, utilizou o termo IoT em uma apresentação dos resultados da pesquisa sobre o uso do RFID. O objetivo da pesquisa era a criação de um sistema global de registro de bens que usasse numeração única (ASHTON et al., 2009). Foi nesse contexto que surgiu IoT, favorecendo a iluminação de um futuro totalmente interativo entre os dispositivos.

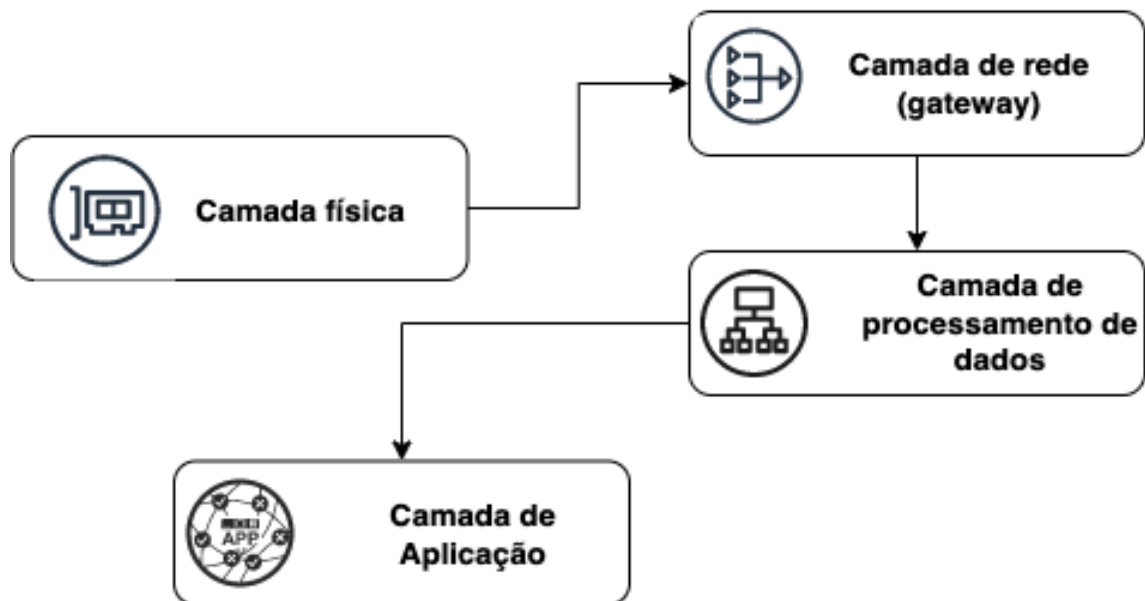
Assim, o termo “coisas” se refere a todos os dispositivos do cotidiano que, por meio de *hardwares* e *softwares*, coletam informações do mundo real para serem armazenadas e processadas em servidores na nuvem ou em servidores locais. Dessa forma, a *internet* é entendida como uma ampla rede de objetos físicos que interopera, tais como: células, carros, atuadores, *chips*, computadores, eletrodomésticos, roupas, sensores, equipamentos médicos, edifícios, dentre outros. A IoT não é uma tecnologia exclusiva, mas sim uma combinação de fatores que interferem na sua constituição, que se baseia na coleta

e compartilhamento de dados em tempo real. Para uma aplicação IoT ser possível, são necessários três elementos: dispositivos inteligentes, uma aplicação de IoT e uma *interface* gráfica de usuários (SERVICES, 2023).

Houve um aumento significativo no número de dispositivos conectados para a geram volume de dados. É notório o seu papel e contribuição em diversas áreas do conhecimento ou da ciência. À medida que mais dados são criados, mais se aprimoram o conhecimento e a perspectiva das pessoas, o que, juntamente com a capacidade da *internet*, permite um crescimento significativo das áreas da ciência. Ao combinar as tecnologias para coletar, distribuir, analisar e transmitir dados em grande escala, diversos setores sofrem alterações significativas (MUXITO et al., 2018).

Figura 1 apresenta a arquitetura da IoT, composta por quatro camadas: a camada física, o processamento de dados, a rede de comunicação ou o *gateway* e a camada de aplicação.

Figura 1: Camadas da *internet* das coisas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dispositivos físicos possuem um identificador na rede, que os identifica através do *gateway*, responsável por interpretar e transferir as informações coletadas para a camada de aplicação que faz o gerenciamento dos dados. A camada de aplicação está conectada à *internet*, permitindo o envio das informações para o servidor da nuvem. A camada de processamento é responsável por realizar a mineração e a análise dos dados coletados,

aplicando o conceito de *Data Analytics* (BORGES, 2017; JENA, 2020). A IoT tem como característica a alta taxa de coleta de dados, o que requer a presença de uma tecnologia que permita a comunicação das informações coletadas.

2.2 Dispositivos Eletrônicos

Os microcontroladores são circuitos integrados, também chamado de pequenos computadores de *chip* único, que possuem unidade central de processamento *Central Processing Unit* (CPU), memória de programa *Random Access Memory* (RAM), memória de dados *Erasable Programmable Readonly Memory* (EPROM) ou memória *Flash* não-volátil capaz de armazenar os dados, dispositivos de entrada-saída (I/O) ou portas para os dados digitais poderem ser lidos ou emitidos do microcontrolador. Os microcontroladores também podem ter temporizador embutido e lógica de interrupção. Usando o temporizador ou as facilidades de interrupção, pode-se programar o microcontrolador para implementar um algoritmo de controle com precisão. Isso permite realizar múltiplas tarefas em um mesmo processo. Assim, cada um dos pinos funciona como uma entrada que, ao receber um sinal com determinadas especificações, faz o microcontrolador interromper as tarefas em processamento e realizar a chamada da função específica a fim de atender à requisição do evento (IBRAHIM, 2006; CARDOSO, 2021).

Como qualquer computador, os microcontroladores utilizam *assembly* linguagem nativa. Como resultado, as linguagens de montagem dos microcontroladores fabricados por diferentes empresas podem ser totalmente diferentes e os desenvolvedores podem utilizar linguagens de alto nível como BASIC, PASCAL, C, C++, PYTHON, JAVA ou LUA (IBRAHIM, 2006; SOARES, 2022).

De acordo com (IBRAHIM, 2006), as linguagens de alto nível, como Python e Java, oferecem diversas vantagens em relação à linguagem *Assembly*, já que, dessa forma, a manutenção do programa se torna mais simples. Testar um programa desenvolvido numa linguagem de alto nível se torna mais simples e mais barato, considerando que o número de desenvolvedores que utilizam tais linguagens é maior que os que programam em *Assembly*. Utilizar linguagens de alto nível viabiliza a oportunidade de cometer menos erros. Além disso, documentar um programa na linguagem de alto nível é bem mais simples que a de baixo nível.

Apesar das vantagens, há algumas desvantagens, como o tamanho do código na memória, que costuma ser maior quando é utilizada uma linguagem de alto nível. Os programas desenvolvidos em linguagem de baixo nível (*Assembly*) são, geralmente, executados de forma mais rápida do que aqueles desenvolvidos em linguagens de alto nível.

Existem vários fabricantes e modelos de microcontroladores, cujo nome também é representado pelas siglas *Microcontroller* (uC) e *Micocontrolller Unit* (MCU). A Tabela 1 lista os microcontroladores mais famosos e utilizados atualmente (OLIVEIRA, 2021).

Tabela 1: Lista de microcontroladores e linguagem de programação.

Tipo/Modelos	Linguagens de programação					
	Fabricate	ASSEMBLY	C	C++	PYTHON	LUA
Raspberry Pi	R. Pi Foundation	*	*	*	*	
Pic	Microchip	*	*	*	*	*
AVR	Atmel	*	*	*	*	*
ESP	Espressif	*	*	*	*	*
ST	STM	*	*	*	*	*
MSP	Texas Instruments	*	*	*	*	
ARM	ARM Holdings	*	*			

Fonte: elaborado pelo autor.

2.3 Redes e Conectividade

Os dispositivos IoT mantêm uma comunicação por rede de comunicação, o que possibilita a interação e a transmissão de dados. O volume de dados gerado é proporcional ao número de aparelhos conectados. A ausência de uma tecnologia viável pode afetar significativamente a qualidade do serviço se não for dimensionado adequadamente, por isso, é importante avaliar certos indicadores, tais como latência e possíveis falhas na transmissão, disponibilidade da rede, tráfego e utilização da rede, a fim de garantir que a comunicação não seja falha (NASCIMENTO, 2017). Dessa maneira, a conectividade torna-se indispensável em qualquer solução que envolva aplicação IoT.

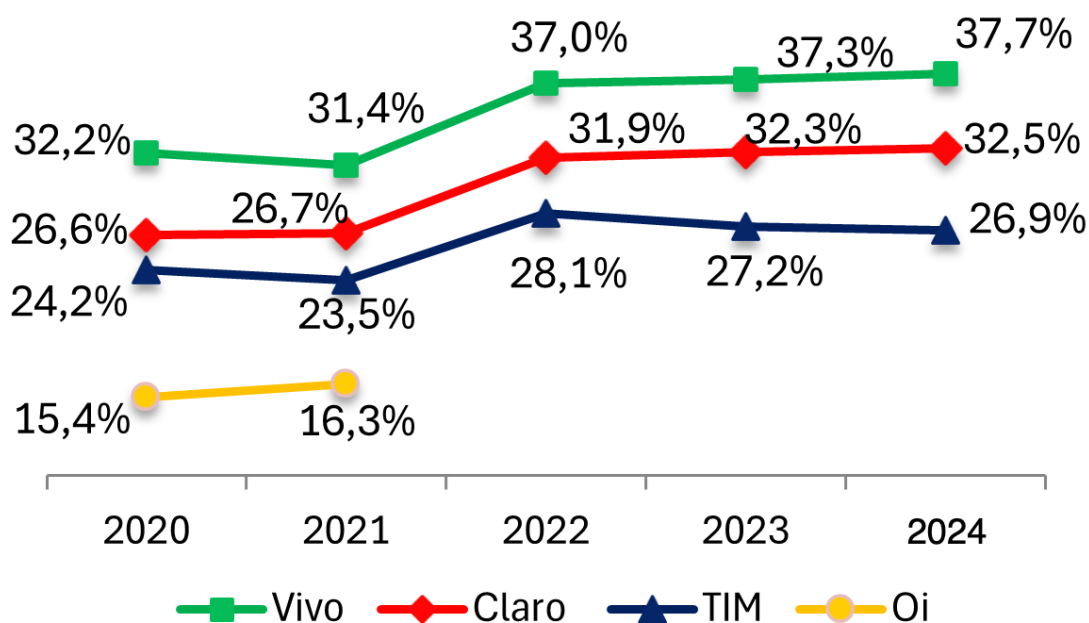
Os principais modelos de rede utilizados em aplicações IoT são: a *Ethernet*, *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), 2G, 3G, 4G, *ZigBee*, *Bluetooth* e 5G. Neste projeto, o foco estabelecido é com a rede Wi-Fi, 2G, 3G, 4G e 5G por serem tecnologias modernas que se adequam à necessidade da proposta de solução desta pesquisa.

As redes 2G, 3G, 4G e 5G são padrões de redes para telefonia móvel, são tecnologias utilizadas para a comunicação de locais afastados que necessitam de uma área de cobertura maior, porém podem possuir maior custo na sua implantação. A 2G é a rede da 2.^a geração. Opera nas faixas de frequência de 900 MHz e 1800 MHz, as métricas geralmente observadas em 2G são 9,6 Kbits/s. As variantes da rede 2G são: rede *General Packet Radio Service* (GPRS) 2.5G com taxa de *bits* teórico de 171,2 Kbps, normalmente 40 Kbps; a rede *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE) 2.75G que é uma evolução da rede 2.5G e utiliza as bandas de frequência de emissão de ondas compreendidas entre 876 MHz e 915 MHz, e 921 MHz e 960 MHz em recepção, com uma velocidade de até 384 Kbps em teoria e, na prática, uma frequência de 100 Kbps (NASCIMENTO, 2017).

A rede 3G é transmitida nas frequências de 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz e 2100 MHz, com uma taxa de transmissão de 1 Mbps. A rede 4G atua nas frequências 450 MHz, 700 MHz, 1700 MHz, 1800MHz e 2500 MHz, com uma taxa de até 10 Mbps (NASCIMENTO, 2017).

A rede 4G *Long Term Evolution* (LTE) opera nas frequências de 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1700/1800 MHz, 1900/2100 MHz, 2500/2600 MHz com taxa de transmissão de até 1 Gbps e uma alta velocidade de *upload* de até 50 Mbps. A Figura 2 apresenta a participação de mercado da rede 4G das principais operadoras de celular do Brasil. A figura demonstra o crescimento na utilização de rede móvel 4G no período de cinco anos.

Figura 2: Participação de mercado da rede 4G das operadoras de celular.



Fonte: traduzido pelo autor, (TELECO, 2014)

Já a rede 5G opera nas frequências 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1700/1800 MHz, 1900/2100 MHz, 2500 MHz, 2,3 GHz até 3,5 GHz com taxa de transmissão de até 51 Mbps, fazendo da rede 5G, 12 vezes mais rápido do que a rede da 4.^a geração (4G). O 5G traz como benefícios a viabilidade do IoT massivo, o que possibilita o aumento na transferência de dados para aplicações da *internet* das coisas. Como mencionado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2022), os avanços esperados na tecnologia da rede 5G em relação à 4G são:

1. Menor latências: redução de tempo entre o sinal enviado e a resposta;
2. Maior velocidade: um aumento na taxa de transferência dos dados;
3. Maior densidade: aumento na quantidade de dispositivos conectados em uma determinada área;
4. Maior eficiência dos equipamentos: redução no consumo de energia.

A rede Wi-Fi é uma tecnologia para conectar dispositivos sem fio no mesmo ambiente.

A principal vantagem do Wi-Fi é possibilitar conexões *wireless* domésticas e corporativas de baixo custo. Mais da metade dos sensores são desenvolvidos com Wi-Fi e, o alcance da sua banda varia em função a quantidade dos pontos de acessos e dos dispositivos sem fios conectados a ela (NASCIMENTO, 2017). Segundo (GARCIA, 2022) os principais padrões de rede *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) 802.11 são:

- Padrão IEEE 802.11: com frequência de 2,4 GHz e capacidade teórica de 2 Mbps.
- Padrão IEEE 802.11a: com frequência de 5 GHz e capacidade teórica de 54 Mbps.
- Padrão IEEE 802.11b, frequência de 2,4 GHz e capacidade teórica de 11 Mbps.
- Padrão IEEE 802.11g: utiliza frequência de 2,4 GHz com capacidade teórica de 54 Mbps.
- Padrão IEEE 802.11n: com frequência 2,4 GHz/5 GHz com capacidade de 150 a 600 Mbps.
- IEEE 802.11ax: padrão para frequência 2.4 Ghz, 6 Ghz e 5 Ghz com capacidade de até 9.6 Gbps.

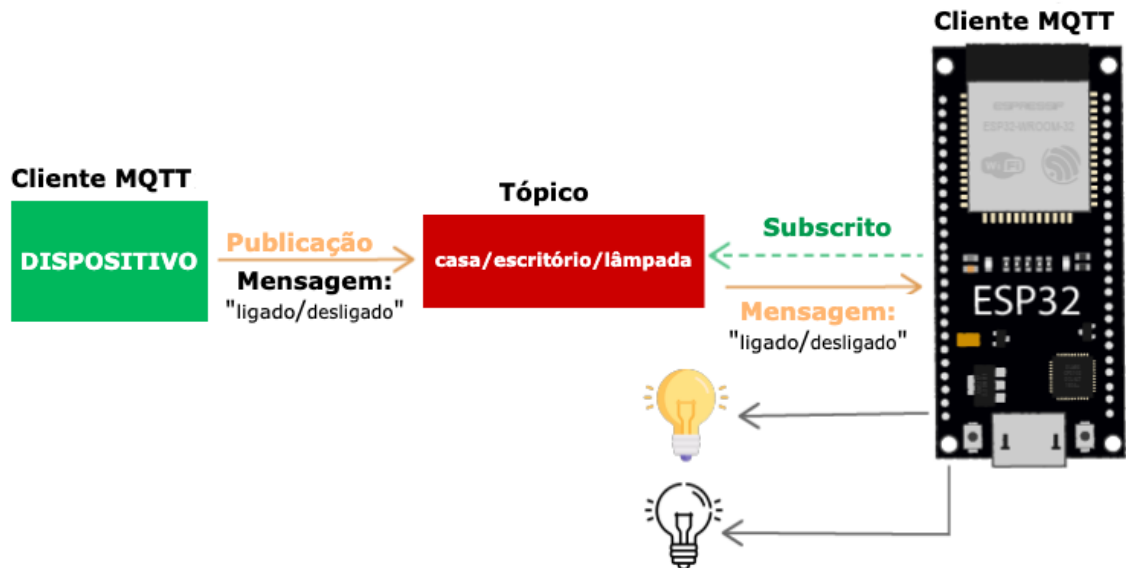
2.4 Protocolos de Comunicação

A transmissão dos dados coletados pode ser feita por meio do protocolo de comunicação de aplicação *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP)/*Secure Hypertext Transfer Protocol* (HTTPS). O HTTP/HTTPS são os protocolos por trás de tudo que trafega na *internet*: determinam as regras e padrões de como os servidores e dispositivos compartilham dados, também, permite a comunicação dos dados entre servidores e clientes. Por meio de requisições, os dados são transferidos no formato *JavaScript Object Notation* (JSON) ou *Extensible Markup Language* (XML). JSON é um formato compacto de padrão aberto para troca de informações de maneira rápida e simples (BORGES, 2017; WONG, 2000). HTTP/HTTPS, não foram desenvolvidos para atender às necessidades de aplicações IoT e, então, devido a essa limitação computacional, surgiu a necessidade de se criar *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), um simples protocolo de comunicação ideal para transmitir os dados coletados de múltiplos dispositivos. A comunicação no MQTT funciona como um sistema de publicação e assinatura. Os dispositivos publicam mensagens

sobre um tópico específico e todos os dispositivos inscritos nesse tópico recebem a mensagem. Suas principais aplicações incluem o envio de mensagens para controlar saídas, ler e publicar dados de *nós* e sensores (SANTOS, 2021). A Figura 3 ilustra como a comunicação é feita usando o protocolo MQTT.

1. Um dispositivo publica mensagens “ligado” ou “desligado” no tópico: casa/escritório/lâmpada;
2. O dispositivo que controla a lâmpada pode ser qualquer microcontrolador ou dispositivo. Neste caso, trata-se do módulo ESP32 que controla a lâmpada neste mesmo tópico: casa/escritório/lâmpada;
3. Quando uma nova mensagem é publicada sobre aquele tópico, o *ESP32* recebe as mensagens “on” ou “off” e liga ou desliga a lâmpada.

Figura 3: Exemplo de comunicação entre os dispositivos na rede usando protocolo MQTT.



Fonte: traduzido pelo autor, (SANTOS, 2021)

Cada um dos protocolos foi criado com diferentes propósitos. Cada um tem sua atuação e finalidade, porém, é possível utilizar ambos os protocolos em um único projeto, como, por exemplo, pode-se utilizar MQTT para comunicação entre os dispositivos na rede e utilizar o protocolo HTTP/HTTPS para o controle de dispositivos clientes-servidor remotamente na *internet* (NASCIMENTO, 2017).

Neste projeto, a limitação computacional dos protocolos HTTPS/HTTP não foi um fator de impacto, uma vez que não houve a coleta de dados de múltiplos dispositivos. Os dados trafegaram no formato JSON por meio do protocolo HTTPS, o que eliminou a necessidade de utilizar do protocolo MQTT.

2.5 Armazenamento e Computação em Nuvem

As redes de dispositivos IoT geram milhões de dados. Esses dispositivos são equipamentos independentes uns dos outros e podem estar localizados em locais diferentes. A conexão permite que os dados sejam transferidos para um local ideal, onde podem ser armazenados, minerados, analisados e processados, gerando resultados significativos que demonstram comportamentos, ações ou previsões. A computação em nuvem possibilita a organização e simplifica o acesso às informações.

O modelo *Infrastructure as a Service* (IaaS) é uma categoria da *cloud computing* e fornece recursos de armazenar, rede, servidores, sistemas operacionais e máquinas virtuais. Esse serviço evita que os clientes tenham *data center* individuais para a implementação das suas aplicações por ser pagamento *pay-as-you-go*, ou seja, o usuário paga pelos recursos utilizados. As soluções de IaaS oferecem a flexibilidade de dimensionar recursos de Tecnologia da Informação (TI) (MICROSOFT, 2022).

2.6 Processamento e *Data Analytics*

Com esta flexibilidade, escalabilidade, infraestruturas, segurança, mobilidade, entre outras, a nuvem se torna meio ideal para implementação de soluções IoT. Com o volume de dados gerados pelos dispositivos, termos como *Big data*, *Data Mining*, *Data Science* e *Data Analytics* se tornam ferramentas, para coletar, armazenar, minerar e analisar os dados estruturados e não estruturados.

A utilização das técnicas de modelagem e processamento de dados torna os dados compreensíveis para o propósito requisitado. Por exemplo, analisar *dataset* dos pacientes com IC ajuda a compreender o quadro clínico e obter parâmetros significantes quanto às rotinas. O objetivo é adicionar valores e sentidos ao volume de dados, definindo parâmetros de validação, como: características, relações, relevância e atributos segundo a sua aplicação

(ESTE, 2019). Nesse contexto, as técnicas de *Data Science*, *Data Mining* e *Data Analytics* se propõem a minerar, analisar e processar os dados.

2.6.1 *Big Data e Data Science*

Big Data está fundamentalmente caracterizado: volume, velocidade, valor, variedade e veracidade. Essas características, também conhecidas como 5Vs do *Big Data*, referem-se à quantidade de dados gerados e coletados num determinado período, disponíveis e armazenados de forma estruturada, semiestruturada ou não-estruturada. Essas características abrangem toda a estrutura e o ecossistema do modelo denominado *Big Data Ecosystem* (BDE), que compreende *Big Data Infrastructure* (BDI), *Big Data Security* (BDS) (DEMCHENKO; LAAT; MEMBREY, 2014)

Data Analytics é usado para analisar os dados coletados no conceito de *Big Data*. A análise atribui significado, valor e sentido aos dados (RUSSOM et al., 2011). Existem outras características, porém, os V's apresentados são os principais, que estão relacionados a problemas IoT, são:

- Volume: é a quantidade de dados gerados por meio de conexões de dispositivos. Cada vez mais são produzidos volumes de informações, que aumentam de *terabytes* para *exabytes*;
- Velocidade: refere-se à velocidade de geração de dados de diferentes fontes. A rapidez com que os dados são gerados e processados para atender às demandas que determinam o potencial real dos dados. Transmissão de dados de milissegundos a segundos para responder;
- Variedade: são consideradas as fontes heterogêneas e a natureza dos dados, gerados por dispositivos como: *smartphones*, sensores e todos os categorizados como IoT, câmeras, microfones, Tv's e produtos conectados. Estima-se que 50% das conexões à *internet* são feitas por dispositivos. (BORGES, 2017);
- Variedade: é a garantia de que os dados utilizados são de fontes confiáveis e estão corretos e são válidos;
- Valor: refere-se a garantia de que os dados utilizados agreguem valor para o negócio.

Cada ação executado por um dispositivo ou sensor de IoT representa uma interação exata, onde os dados são gerados, coletados e transmitidos, resultando em uma massa de dados da ordem de *terabytes* (BORGES, 2017).

A maioria dos dados gerados não são produzidos por humanos, mas por máquinas que conversam entre si por meio de rede de dados — isso inclui sensores e dispositivos inteligentes se comunicando com outros dispositivos. Até 2020, estimou-se que a quantidade de dados digitais produzidos excedia 40 *zettabytes* equivalendo a 5.200 *gigabytes* de dados para cada homem, mulher e criança na Terra (MEARIAN, 2012).

Data Science envolve, inicialmente processamento e técnicas de entendimento de fenômenos por vias automáticas de análise de dados. Como técnica da *Data Science*, o *Data-Driven Decision Making* (DDDM) faz referência à utilização fatos, métricas e dados para orientar decisões comerciais estratégicas que estejam conforme os objetivos, metas e iniciativas (SALESFORCE, 2024).

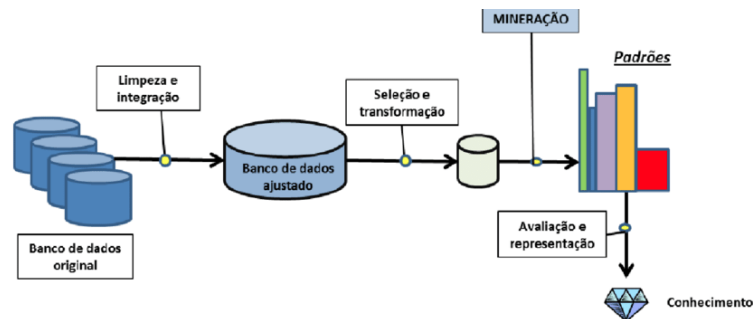
2.6.2 *Data Mining*

Data Mining utiliza dados coletados e armazenados no conceito de *Big Data* para iniciar a exploração dos dados em busca de padrões e consistência, regras associadas ou sequências temporárias, a fim de identificar um relacionamento sistemático entre variáveis. O conceito também é conhecido como *Knowledge Discovery Database* (KDD). Na verdade, KDD é um processo mais complexo, que envolve sete etapas (AMO; SANDRA, 2004). A Figura 4 apresenta e descreve detalhadamente as sete etapas do KDD.

1. Limpeza: etapa utilizada para tornar os dados limpos, eliminar ruídos, *outliers*, e dados inconsistentes;
2. Integração: etapa em que diferentes fontes de dados são combinadas para formar um único repositório de dados;
3. Seleção: etapa em que são selecionadas as variáveis que interessam à pesquisa, e que são relevantes na geração dos resultados;
4. Transformação: etapa em que os dados são transformados em formato apropriado para aplicação de algoritmos de mineração;

5. Mineração: etapa que consiste na aplicação de técnicas a fim de extrair padrões de interesse;
6. Pré-processamento: etapa em que são identificados os padrões interessantes de acordo com algum critério do pesquisador;
7. Resultados: etapa em que são utilizadas técnicas de representação de conhecimento a fim de apresentar ao usuário o conhecimento minerado.

Figura 4: As etapas do processo KDD.



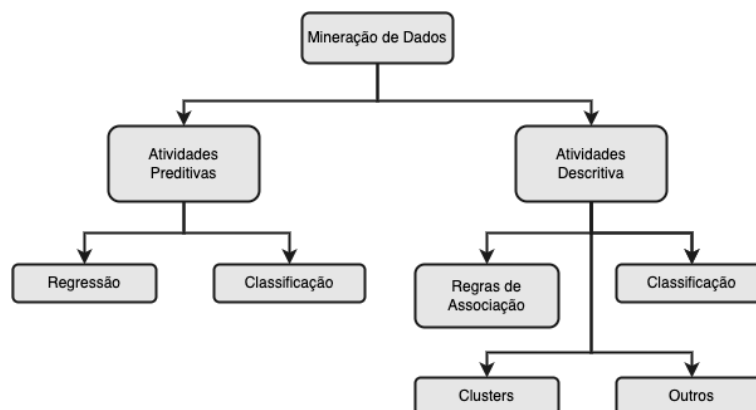
Fonte: (ANTUNES, 2017).

Supondo que os dados já foram devidamente selecionados e transformados, integrados em um armazém de dados (*Data Warehouse*) e foram eliminados ruídos que afetem o processo de descoberta de conhecimento, o passo seguinte é aplicação das tarefas e técnicas de mineração de dados (AMO; SANDRA, 2004).

De acordo com (AMO; SANDRA, 2004), é importante distinguir o que é uma tarefa e o que é uma técnica de mineração. A tarefa é escolher o que se quer encontrar nos dados, como regularidades, padrões, ou o que pode surpreender, como um gasto excessivo de um cliente de cartão de crédito fora do padrão normal. A técnica de mineração é a combinação de métodos que permite identificar os padrões relevantes para a pesquisa. A Figura 5 apresenta as tarefas e técnicas utilizadas em mineração de dados.

Uma regra de associação ou rastreamento de padrão é um padrão da forma $X \rightarrow Y$, onde X e Y são conjuntos de valores. Implica reconhecer e monitorar tendências em conjuntos de dados para fazer análises inteligentes sobre os resultados de negócios (ALI, 2022; AMO; SANDRA, 2004). Já um padrão sequencial é uma expressão baseada na expressão " X, \dots, Y ", onde " X " é um conjunto de itens. A ordem em que estão alinhados

Figura 5: Tarefas e técnicas de mineração de dados.



Fonte: adaptado pelo autor, (SOUZA, 2010).

representa a ordem cronológica em que aconteceram os eventos representados por esses conjuntos (AMO; SANDRA, 2004).

Um banco de dados pode conter dados que não apresentam o comportamento geral da maioria. Em tais situações, a técnica de detecção de *outliers* é útil por envolver a identificação de anomalias ou *outliers* (exceções) em seu conjunto de dados para entender causas específicas ou obter previsões mais precisas (ALI, 2022).

Já classificar e prever é o processo de encontrar um conjunto de modelos (funções) que descrevem e distinguem classes ou conceitos, com o propósito de utilizar o modelo para prever a classe de objetos que ainda não foi classificada. O modelo construído baseia-se na análise prévia de um conjunto de dados de amostragem ou dados de treinamento, contendo objetos corretamente classificados (AMO; SANDRA, 2004).

Basicamente, classificar é derivar dados relevantes e metadados com base em um atributo definido. É o processo de dividir grandes conjuntos de dados em categorias de destino. Essa categorização também é determinada pela estrutura de dados, como: banco de dados relacional, não relacional ou banco de dados orientado a objetos. (ALI, 2022).

Clusters envolve o agrupamento de dados com base em semelhanças. Ele ajuda na descoberta de conhecimento, na detecção de anomalias e na obtenção de *insights* sobre a estrutura interna dos dados (ALI, 2022).

2.6.3 *Data Analytics*

A captura dos sinais vitais por meio de sensores IoT, como medida para garantir melhor acompanhamento da saúde dos pacientes, abre uma ampla necessidade de explorar os dados, e, assim, o uso de ferramentas baseados em *Data Analytics* o uso se tornam necessários.

O objetivo é dar sentido aos dados, aplicando as técnicas disponíveis no conceito de análise de dados. As etapas do processamento separam os dados em categorias a fim de perceber o valor de cada informação e seu contributo no valor final dos resultados obtidos.

Computacionalmente, deve-se assegurar uma estrutura adequada para armazenar os dados, de forma que seja expansível para acomodar o aumento no volume de dados gerados, com a utilização de sensores e módulos. Nesse contexto, surge o conceito de distribuição dos dados gerados, o que possibilita aumentar os recursos computacionais de armazenamento e processamento dos dados de forma paralela e distinta. O banco de dados não relacional *Not Only Structured Query Language* (NoSQL) apresenta características como alta capacidade de armazenamento e flexibilidade de expansão conforme os dados aumentam (BORGES, 2017).

Bancos de dados NoSQL são recursos eficazes no processamento de volume de dados, mas tais bancos são heterogêneos. Eles oferecem diversos modelos de armazenamento de informações, o que dificulta a interoperabilidade dos dados, integração e migração dos dados de um sistema para outro (HAJOUÏ et al., 2016; BORGES, 2017), fazendo-os uma melhor opção para o projeto.

Sobre as ferramentas de *Data Analytics*, *Cloud Computing* se tornou o meio ideal por oferecer as principais ferramentas para *Data Analytics*, sendo que essas ferramentas são promovidos por diversas empresas fornecedoras de serviços da nuvem: *Amazon Elastic, MapReduce, Microsoft Azure HD Insiqth, IBM Big Data Analytics, Cloudera Enterprise, Cloudera Distribution for Hadoop* (CDH), *Hortonwork Data Flow* (HDF), *Hortonwork Data Platform* (HDP), possui suítes de computação distribuída voltadas para *clusters* e processamento de grandes volumes de dados (*Hadoop*) e ferramentas para *Analytics*, oferecendo serviços de *Big Data* e oferecendo produtos e soluções como *Service as A Service* (DEMCHENKO; LAAT; MEMBREY, 2014).

No processo de coleta dos dados, faz-se necessário o uso do conceito de *Big Data Analytics*. Além dos recursos como armazenamento, processamento, memória e rede, contidos na infraestrutura padrão de *Cloud Computing*, outros elementos e requisitos são necessários para suportarem o sistema de *Big Data Analytics*, tais como: ecossistema do *Hadoop*, clusterização, *Apache* entre outros. Essas ferramentas são específicas para análise, mineração e visualização de dados, com suporte de banco de dados estruturados *Structured Query Language* (SQL), bancos de dados não estruturados NoSQL, e banco de dados com processamento paralelo massivo *Massively Parallel Processing* (MPP) (RICHERT, 2013).

O processo de análise de dados no *Data Analytics* é classificado por três níveis: Análise Descritiva, Análise Preditiva e Análise Prescritiva. A Análise Descritiva é baseada em fatos e resultados obtidos na exploração do histórico dos dados para orientação de estrutura de estratégias com a utilização de algoritmos de regressão para a identificação de tendências no banco de dados. Para este primeiro nível de análise de dados, é comum a sua associação ao uso do sistema de *Business Intelligence* (BI). A Análise Preditiva visa contemplar os cenários futuros com base na análise de padrões revelados pela base de dados, com a utilização de técnicas de estatísticas como Regressão Linear e Regressão Logística para a compreensão dos comportamentos e prever ações; já na Análise Prescritiva, recomenda-se buscar a solução ou resultado mais adequado entre as diversas opções, considerando os parâmetros conhecidos, visa à eficiência e à tomada de decisões. (PROVOST; FAWCETT, 2013; SILVA, 2021).

A infraestrutura da *Data Analytics* é composta por seis etapas, como é demonstrado pela Figura 6. A primeira fase define a fonte de dados; a segunda etapa é a coleta de dados, definindo quais dados serão coletados conforme os requisitos da pesquisa; a terceira fase consiste em aplicar filtros e categorizar os dados, ou seja, identificar quais parâmetros da fonte de dados são relevantes e categorizá-los segundo o tipo do *dataset*, a quarta fase consiste na análise, modelagem e previsão dos dados; a quinta etapa possibilita a visualização dos dados analisados e a sexta permite o consumo de acordo com os resultados alcançados.

Figura 6: Infraestrutura de *data analytics*.



Fonte: elaborado pelo autor.

2.7 Doenças Cardiovasculares

Segundo a (OMS, 2020), as DCV são a principal causa de morte em todo o mundo nos últimos 20 anos, sendo responsável por 16% de todas as mortes. A Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC) estima que cerca de 14 milhões de brasileiros têm doenças cardíacas e 400.000 falecem de DCV todos os anos, correspondendo a 30% das mortes no país. Durante o primeiro semestre de 2021, a Associação Nacional dos Registradores de Pessoas Naturais (Arpen-Brasil) divulgou informações que indicavam um aumento de quase 7% no número de mortes causadas por DCV. Com essa taxa de mortalidade, o Brasil é um dos países que tem a DCV como principal causa de morte global. Diante desse cenário, os transplantes de órgãos são, muitas vezes, a única maneira de tratar certas doenças cardíacas. O coração artificial pode corrigir a IC e manter a vida do paciente, servindo como um dispositivo de suporte ao sistema circulatório. O Sistema Nacional de Transplantes (SNT) é o órgão que gerencia os transplantes de órgãos financiados pelo SUS no país. Os dados divulgados pelo (MS, 2024) indicam que cerca de 42.048 indivíduos aguardam por um órgão, sendo 25.117 homens e 17.733 mulheres. A lista é dividida por tipo de doação: 402 pessoas esperando uma doação de coração, 39.533 de rim, 2.321 de fígado e 172 de pulmão. Os dados mostram que as pessoas entre 50 e 64 anos são as que mais necessitam de órgãos, sendo que 9.873 homens representam 59% e 6.327 mulheres, 41%. Até a data da consulta dos dados no site, foram realizados 2.345 transplantes, sendo 125 transplantes de coração. Esses dados são atualizados periodicamente. De acordo com (UEBELHART et al., 2010), os transplantes de órgãos devem ser realizados somente após uma equipe médica confirmar a morte cerebral natural ou acidental do doador, além de confirmar que todos os órgãos estão funcionando adequadamente. O SUS e o SNT devem

autorizar o procedimento, porém, cabe à família do pretense doador, autorizar ou não a doação de órgãos.

2.7.1 Funcionamento do Coração

O coração é um órgão muscular que se contrai ritmadamente enquanto bombeia o sangue pelos vasos sanguíneos do sistema circulatório. Ele é composto por duas bombas pulsáteis: o coração direito, responsável pela circulação pulmonar, e o coração esquerdo, responsável pela circulação sistêmica (UEBELHART et al., 2010). O sangue proporciona ao organismo oxigênio e nutrientes (ROCHA; TURRI; BOCK, 2020).

Os ritmos cardíacos do coração variam em função da faixa-etária de cada indivíduo. O coração de um adulto bombeia sangue com frequência de 60 a 100 bpm (batimentos em minutos) (UEBELHART et al., 2010).

2.7.2 Insuficiência Cardíaca

IC é uma condição debilitante que impede o coração de bombear sangue suficiente para atender às demandas do corpo, causando falência de órgãos e morte (MAMUN A. FARJANA; RAHMAN, 2022). Essa condição pode ser causada por alterações estruturais ou funcionais cardíacas, sendo caracterizada por sinais e sintomas característicos, que podem ser resultantes da diminuição do ritmo cardíaco e/ou das elevadas pressões de enchimento durante o repouso ou esforço (ROHDE; PAIM et al., 2018).

O diagnóstico de IC ocorre após um exame físico detalhado a ser realizado em todos os pacientes que demonstram evidências de doença cardíaca (ROHDE; PAIM et al., 2018).

Os sinais e sintomas listados na Tabela 2 classificam a presença de IC nos pacientes. A identificação da doença é feita a partir da observação dos sinais e sintomas, como: falta de ar/dispneia: pode surgir durante a atividade física, ao deitar ou em repouso; fadiga: sensação de cansaço e falta de energia. Os sinais e sintomas típicos são indicadores particulares e representativos da doença, enquanto os sinais e sintomas específicos são indicadores excludentes e confirmatórios da doença. Já os sinais e sintomas menos específicos são indicadores não conclusivos para a determinação da prescrição da doença durante o diagnóstico.

Tabela 2: Sinais e sintomas da insuficiência cardíaca

Sintomas típicos	Sinais mais específicos
Falta de ar/dispneia	Pressão venosa jugular elevada
Ortopneia	Refluxo hepatojugular
Dispneia paroxística noturna	Terceira bulha cardíaca
Fadiga/cansaço	Impulso apical desviado para esquerda
Intolerância ao exercício	
Sintomas menos típicos	Sinais menos específicos
Tosse noturna	Crepições pulmonares
Ganho de peso	Taquicardia
Dor abdominal	Hepatomegalia e ascite
Perda de apetite e perda de peso	Extremidades frias
Noctúria e oligúria	Edema periférico

Fonte: adaptado pelo autor, (ROHDE; PAIM et al., 2018).

Conforme mencionado na literatura por (CESTARI; GARCES et al., 2022) no Brasil, a prevalência de IC é de aproximadamente 2 milhões de pacientes e sua incidência é de aproximadamente 240.000 novos casos por ano. A taxa de mortalidade causada por IC é diversificada em regiões brasileiras, com ênfase no Sul, Sudeste e Nordeste. O Índice de Moran Global (IMG) indicou autocorrelação espacial positiva ($p=0,01$) em todos os períodos. Cidades localizadas no Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-oeste mostraram maior risco relativo para mortalidade causada por IC, já a maioria das cidades da região Norte foram classificadas como um fator protetivo contra esta causa de morte.

De acordo com (VAIDYA; RIAZ et al., 2023), um estudo de *Framingham* de 1993 descreveu os fatores de risco para IC. Já outra pesquisa recente mostrou que os resultados do estudo de cinco anos apresentaram uma taxa de sobrevivência melhorada de 58% entre os pacientes com dispositivo LVAD do tipo *HeartMate 3*, e 44% com o *HeartMate II*. A *American Heart Association* relatou que a prevalência de IC era de 5,1 milhões nos Estados Unidos em 2006.

A prevalência mundial foi estimada em 23 milhões. A IC pode ser categorizada com base na *Left Ventricular Ejection Fraction* (LVEF) em IC sistólica e diastólica. O pri-

meiro grupo inclui pacientes com LVEF menor ou igual a 40%, também denominada IC com *Heart Failure With Preserved Ejection Fraction* (HFpEF). A IC com HFpEF inclui aqueles com LVEF maior ou igual a 40%. Esta atividade analisa o papel dos LVADs, suas indicações e contraindicações e destaca o papel da equipe interprofissional no manejo de pacientes com doença cardíaca em estágio terminal (VAIDYA; RIAZ et al., 2023).

Como mencionado pelo (HUANG; JIANG et al., 2023), no estudo *DIGITALIS* realizado no Brasil, 64,2% desses pacientes foram diagnosticados com IC com LVEF. Recentemente, um novo tipo de IC, denominado IC com Fração de Ejeção de Faixa Média (ICFEfm), foi descrito. De acordo com dados publicados na base de dados *DIGITALIS*, a prevalência de IC com Fração de Ejeção Reduzida (ICFEr) foi de 19%, a ICFEfm foi de 22% e a Fração de Ejeção Preservada (ICFEp) foi de 59%. Isso mostra que a ICFEp é responsável por uma grande proporção de casos de IC.

2.8 Saúde 4.0

Para (XAVIER; GOTTSCHALG-DUQUE, 2021), Saúde 4.0 é uma expressão alusiva à Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0. As inovações nesta área envolvem a robótica, a inteligência artificial e a conectividade para a prestação de serviços aos clientes.

Assim, abre-se o pressuposto de que a tecnologia pode contribuir positivamente para a resolução de problema de doenças cardíacas do Sistema de Saúde. A solução contempla aspectos como a produção, o uso e a destinação das tecnologias inovadoras, bem como a proteção, a segurança e privacidade dos dados gerados pelos LVAD ou quaisquer outros dispositivos de monitoramento dos pacientes (XAVIER; GOTTSCHALG-DUQUE, 2021)

2.8.1 Dependência Artificial

A dependência da tecnologia é, geralmente, associada a aspectos negativos, como o uso crescente das redes sociais e dos jogos eletrônicos. No entanto, no conceito da Saúde 4.0, a dependência da tecnologia tem enfoque mais positivo que negativo, uma vez que a presença das tecnologias nas soluções de saúde traz inúmeros benefícios para o setor.

A dependência artificial é definida como a necessidade das tecnologias nas rotinas humanas. Quando a rotina humana se torna dependente da tecnologia, é evidente que

sua ausência pode dificultar a realização de muitas tarefas do dia a dia, no entanto, para muitas pessoas, essa dependência é essencial para a sobrevivência.

O implante de um dispositivo no tórax conhecido como coração artificial fornece suporte ao sistema circulatório para a resolução de problemas cardíacos. Um dispositivo é implantado no paciente para corrigir o problema cardíaco e, também, monitorar os sinais vitais do órgão biológico e do artificial com o propósito de aliviar o quadro clínico. O fato de ser necessário um dispositivo artificial para corrigir a deficiência do órgão natural coaduna com a necessidade de sobrevivência do paciente. Trata-se de uma dependência artificial, porém, o dispositivo é indispensável para saúde do paciente. É considerado dependente artificial qualquer outro paciente que necessite de um meio artificial para executar as atividades de sua rotina, tais como: pessoas com deficiência motora que usam muletas para se locomover, pessoas com deficiência auditiva que usam aparelhos de som para auxiliar na audição, entre outras necessidades.

2.8.2 Coração Artificial

De acordo com (STANFORD, 2023), coração artificial é um dispositivo de LVAD, uma bomba a ser implantada em doentes que atingem uma fase terminal de IC. Implantado cirurgicamente, o dispositivo é uma bomba mecânica operada por uma bateria, que ajuda o ventrículo esquerdo (principal câmara de bombeamento do coração) a bombear sangue para o resto do corpo.

Todos os aparelhos LVAD são compostos por três partes:

1. Uma bomba de sangue;
2. Um computador de bordo, também chamado de controlador;
3. Uma fonte de alimentação externa (bateria).

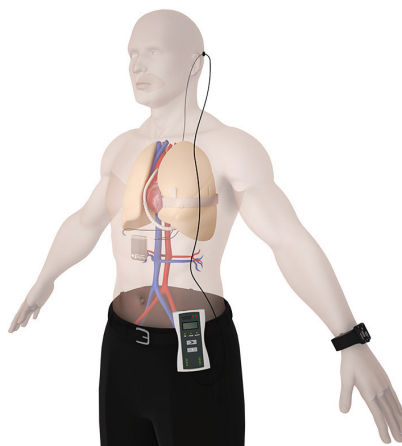
Esses equipamentos se conectam ao LVAD por intermédio de uma série de fios. A série de fios é chamada de linha de transmissão (UTAH, 2023), que possibilita a funcionalidade do dispositivo. Atualmente, os LVADs são classificados em três gerações distintas, sendo que cada uma delas representa avanços significativos na tecnologia de suporte cardíaco. A primeira, a segunda e a terceira geração desses dispositivos refletem uma evolução

contínua na eficácia, na capacidade de minimizar complicações e no aprimoramento do suporte oferecido aos pacientes com IC avançada. Essa classificação por gerações destaca o progresso contínuo e o compromisso da comunidade médica/engenharia e computação com a melhoria dos tratamentos para condições cardíacas críticas.

A evolução da tecnologia já possibilitou a criação de diversos dispositivos LVADs disponíveis na área médica, os quais são utilizados na correção da IC, tais como:

- *Jarvik 2000*: para (UTAH, 2023), o dispositivo *Jarvik 2000* é uma bomba de fluxo axial e, atualmente, está em teste clínico. Essa bomba apresenta algumas particularidades que a distinguem dos outros LVADs. Enquanto os outros LVADs possuem conexões que saem do corpo através do abdômen, o *Jarvik 2000* possui um cabo pós-auricular. Esse cabo é introduzido no corpo pela orelha, conforme ilustrado na Figura 7 e, por meio dela, o cabo se conecta ao crânio. O cabo atrás da orelha torna o paciente mais ativo perto de água como, por exemplo, em piscinas, banheiras de hidromassagem e lagos, podendo inclusive entrar na água sem se preocupar com a infecção da incisão do sistema de transmissão. Este LVAD depende inteiramente da energia da bateria. Não há opção para alimentação direita. Além disso, o paciente pode mudar a velocidade da bomba para esse dispositivo no controlador.

Figura 7: Dispositivo LVAD *Jarvik 2000*.



Fonte: (BRIGHAM, 2018b).

- *HeartWare*: trata-se de uma bomba centrífuga que pode ser implantada por esternotomia ou toracotomia, aprovado pelo *Food and Drug Administration* (FDA) como

terapia de ponte para transplante *Bridge To Transplant Therapy* (BTT) ou *Distinction Therapy* (DT). O *HeartWare* é implantado no espaço pericárdico. Seus fios externos saem pelo abdômen por meio de uma incisão cirúrgica. A Figura 8 mostra como é o modelo do dispositivo.

Figura 8: Dispositivo LVAD *HeartWare*.



Fonte: (VAIDYA; RIAZ et al., 2023).

- *HeartMate 3*: (UTAH, 2023) define *HeartMate 3* como o mais recente e maior LVAD aprovado pelo FDA. Durante os estudos do dispositivo, os pacientes que receberam o *HeartMate 3* apresentaram uma taxa de sobrevivência sem precedentes de 58%. *HeartMate 3* é uma pequena bomba centrífuga que usa um rotor totalmente magnético para reduzir a degradação das células sanguíneas, como mostra a Figura 9. O rotor levitado da bomba tem ímãs em torno, criando um campo magnético para levantar o rotor da base. Dessa forma, o rotor não atinge as paredes laterais da bomba, danificando, portanto, menos glóbulos vermelhos.

Figura 9: Dispositivo LVAD *HeartMate 3*.



Fonte: (BRIGHAM, 2018a).

Outro dispositivo recentemente desenvolvido é de *Stanford's Heart Failure and Cardiomyopathy Clinic* do Departamento de Medicina de *Stanford Medicine* com 30 anos de experiência na assistência médica. O Programa LVAD no *Stanford Health Care* desenvolveu a terapia LVAD, sendo o primeiro implante bem-sucedido de “ponte para transplante” em 1984. Esse dispositivo garante os tipos de abordagens minimamente invasivas, uma implantação LVADs que evita a divisão do osso do peito (STANFORD, 2023).

Os LVADs são dispositivos portáteis, o que significa que os pacientes podem retornar para casa e prosseguir com as suas atividades normais. Para (STANFORD, 2023), os dispositivos LVADs podem ser utilizados como:

1. Terapia de ponte para transplante: trata-se de uma terapia, que salva a vida daqueles que aguardam um transplante cardíaco. Os doentes utilizam o aparelho até que um coração fique disponível. Em alguns casos, o LVAD pode restaurar o coração em falha, eliminando a necessidade de um transplante.
2. Terapia de destino: como nem todo paciente é candidato a transplante cardíaco, pode, a longo prazo, ser tratado com um LVAD e, dessa forma, prolongar, com qualidade, sua vida.

2.8.3 Projeto MackPesquisa

O projeto MackPesquisa, nº 231018, é uma pesquisa científica que inclui estudos na área médica, Engenharia e Computação, visando desenvolver um Dispositivo de Assistência Ventricular (LVAD, sigla em inglês) mecânico, conhecido como coração artificial, para atender às necessidades da saúde pública. O projeto foi apresentado pelo Mack-Graphe em parcerias com FEMPAR, EE e FCI. O LVAD em desenvolvimento é um dispositivo promissor, com conexão de dados, suporte remoto para supervisão, operação e diagnóstico de pacientes com IC. Esse diferencial coloca o dispositivo do projeto Mack-Pesquisa em uma posição única quando comparado a outros dispositivos LVAD. Um fator relevante para seu desenvolvimento é o estudo da viabilidade do custo econômico que seja acessível para implementação do dispositivo completo (coração artificial) no SUS. Outro ponto de sua contribuição e diferencial é a bomba centrífuga, capaz de bombear até 8 litros/minuto, ou seja, capaz de suprir as necessidades metabólicas de um adulto de 70

a 90 kg. A concepção da bomba centrífuga utilizada é distinta das bombas axiais empregadas atualmente em dispositivos estrangeiros, uma vez que seu fluxo é contínuo. Nos dispositivos estrangeiros, o fluxo é feito no mesmo sentido do rotor (KUBRUSLY et al., 200).

O projeto, bem como o seu desenvolvimento, é fomentado e financiado pela MackPesquisa sob o tema Desenvolvimento de Coração Artificial para Tratamento da Falência Cardíaca com Viés para o Sistema Único de Saúde. Tem por objetivo desenvolver um dispositivo do tipo LVAD que seja implantado no tórax dos pacientes para corrigir problemas do órgão natural (coração biológico), que apresenta deficiência na atividade de bombeamento de sangue. Esse dispositivo tem como função, portanto, auxiliar o órgão biológico na sua função deficiente. Um dos componentes do projeto LVAD é o sensoria-mento, responsável por desenvolver um dispositivo protótipo IoT que coleta, transmite e armazena os dados, utilizando os conceitos de *Big data*, *Data Science* e *Data Analytics* para a realização de suporte remoto à supervisão, operação e diagnóstico dos pacientes e análise de dados. As características físicas do protótipo incluem sensores de leitura de movimento, sensor de batimento cardíaco, conexão de rede móvel para a transmissão dos dados e realização de operação e diagnóstico para o monitoramento da saúde dos pacientes.

A inteligência incorporada ao projeto MackPesquisa (coração artificial) torna o dispositivo automático, além de um botão mecânico redundante para aceleração por ação do paciente, como se vê em diversos outros modelos LVADs existentes, em que os pacientes precisam acionar botão para aumentar o bombeamento sanguíneo. No projeto MackPesquisa, essa tarefa é gerenciada pelo sistema de inteligência integrado ao dispositivo, tendo um botão físico como redundância. A inteligência é composta por sensores de batimentos cardíacos, gravidade, movimento e aceleração para identificar alterações no ritmo cardíaco. Em resposta a essas informações, a inteligência adapta automaticamente a velocidade do rotor conforme as diretrizes previamente estabelecidas pelos médicos. Isso torna o projeto MackPesquisa um dispositivo inovador e inteligente, permitindo a tomada de decisões sem a intervenção dos pacientes.

O desenvolvimento do projeto MackPesquisa (coração artificial) mostra uma contribuição única ao sistema de saúde pública pela sua composição e inovação tecnológica. A

presente pesquisa demonstra a diferença entre o dispositivo LVAD do projeto MackPesquisa em relação a outros dispositivos LVAD existentes e conhecidos na ciência médica, segundo a revisão da literatura realizada. Os dados são coletados do coração biológico mediante sensores instalados no dispositivo LVAD do projeto MackPesquisa, enviados para um servidor de aplicação local e, posteriormente, armazenados no banco de dados da nuvem (*MongoDB Atlas*).

A possibilidade de acelerar o rotor do coração artificial por meio de inteligência artificial com base em sensores é uma hipótese em estudo, mas não é o foco desta pesquisa. Essa pesquisa foca na utilização de sensores IoT para a coleta, transmissão, processamento e análise dos dados.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Com base nos assuntos discutidos na pesquisa, realizou-se uma revisão na literatura dos trabalhos que abordam os tópicos de IoT e conexão a rede celular com aplicação aos conceitos de Saúde 4.0 e coração artificial.

(ROCHA; TURRI; BOCK, 2020) abordam o coração artificial, mas com foco de escassez de órgãos para transplantes no Sistema de Saúde, já que a fila de espera é enorme. Junto da questão levantada, foi criado um protótipo do tipo LVAD capaz de auxiliar os pacientes na espera por um novo coração biológico. Esse dispositivo presta assistência tanto aos pacientes adultos quanto aos pacientes pediátricos, contribuindo para aprimorar a qualidade de vida enquanto aguardam a doação de órgãos.

O dispositivo é composto por duas câmaras separadas por uma membrana. A câmara inicial é responsável por conduzir o ar comprimido e possui uma conexão que estimula o movimento da membrana. A segunda câmara é responsável pela circulação do sangue, tendo uma entrada e uma saída de sangue. Esse processo é controlado por um *software* que permite ajustar a frequência dos batimentos cardíacos, além de melhorar o volume e a contração. O dispositivo é instalado no lado externo do paciente, denominado *paracórporeo*, e auxilia o coração a bombear sangue melhorando, portanto, o sistema circulatório dos pacientes.

(XAVIER; GOTTSCHALG-DUQUE, 2021) trataram da Saúde Digital aplicada à criação de prontuário eletrônico como ferramenta de apoio tecnológico da área de Saúde. As inovações nesta área incluem robótica, inteligência artificial e conectividade de dispositivos (IoT) para oferecer serviços aos pacientes.

A pesquisa estudou a gestão arquivística de documentos com as tecnologias *Blockchain* e *Smart Contracts* para a gestão e segurança do Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP). Além disso, o objetivo foi apresentar os conceitos e os principais elementos de uma gestão arquivística para os PEPs, identificar as características e o funcionamento das tecnologias *Blockchain* e *Smart Contracts* e, também, demonstrar as vantagens de uma gestão integrada dos PEPs através da aplicação das técnicas arquivísticas e das tecnologias *Blockchain* e *Smart Contracts* como uma contribuição à Saúde 4.0.

Como resultado, o estudo demonstrou que o tratamento dos PEPs é o fundamento

para iniciativas de implantação de serviços médicos inteligentes e requer a criação de uma arquitetura da informação capaz de organizar as informações em seus diversos ambientes organizacionais. Ao examinar os PEPs, constatou-se a existência de prazos de guarda e destinação distintos para prontuários em geral e servidores públicos, além do tratamento desses assuntos em duas normas distintas, a Lei no 13.787, de 2018, e a Portaria AN n. 47, de 14 de fevereiro de 2020. A uniformização da temporalidade e destinação dos PEPs no Brasil se faz necessária, sendo oportuno o tratamento dos prazos de guarda e destinação dos PEPs de servidores públicos na respectiva Lei.

(BORGES, 2017) usou o conceito de *internet* das coisas e as técnicas de *big data* para estudar a emissão do dióxido de carbono na grande São Paulo. Os sensores IoT permitem a detecção de *CO2* e do aumento da poluição no meio ambiente.

A pesquisa usou microcontrolador *ESP8266* para coletar *CO2* em várias regiões da cidade de São Paulo. (BORGES, 2017) concluiu que os valores de *CO2* produzidos na cidade metropolitana de São Paulo ultrapassaram a média estabelecida pelo Organização Mundial da Saúde (OMS), que determina o máximo de 10 *ppm*. Na região metropolitana de São Paulo, onde os sensores foram instalados, as medições variaram entre 30 e 40 *ppm de CO2*.

A abordagem do (NASCIMENTO, 2017) sobre IoT foi aplicada para conforto térmico de ambientes internos: sala de estar, cozinha, banheiro e escritório e quarto. Para a coleta de dados sobre a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa do ar (%), a pesquisa usou os módulos *DOIT ESP32* e *ESP32-WROOM-32* conectados a uma rede Wi-Fi, além de um sensor de temperatura e umidade *DHT11*. Como resultados, a pesquisa obteve a temperatura e umidade médias considerando os cinco ambientes, respectivamente, 25.94°C e 59.96%. Considerando o *Índice de Calor* (IC) igual a 26.86°C , o *Índice de Desconforto Térmico* (IDT) igual a 23.42°C e o *Índice de Temperatura e Umidade* (ITU) igual a 23.86°C , é possível concluir que a residência pode ser considerada um ambiente tranquilo e sem perigos para a saúde dos moradores, desde que o espaço seja ocupado por menos de 50% dos moradores.

Já (OLIVEIRA et al., 2022) abordaram a utilização de redes 5G e 6G como contribuição para evolução dos projetos IoT. A pesquisa realizou a simulação utilizando o *Software Network Simulator 2* (NS2) e realizou uma comparação entre as tecnologias 5G e

6G com foco em prever a perda de pacotes, vazão de dados nas transmissões e latência de cada tecnologia. Como resultados, a pesquisa previu o desempenho por meio das métricas aplicadas à diferença de velocidade e a capacidade de envio de pacote de dados entre as novas tecnologias de rede móvel, 5 e 6G. Assim, o trabalho concluiu que as redes 5G e 6G apresentam desempenho surpreendente entre todas outras gerações das tecnologias móveis de rede. Nos testes, a rede 6G apresentou menor latência, menor quantidade de perdas nos pacotes de dados e maior quantidade de dados enviados no mesmo período.

O estudo conduzido por (CESTARI; GARCES et al., 2022) tem como foco a distribuição espacial de mortalidade por IC no Brasil, durante o período de 1996 a 2017. Os resultados da pesquisa revelam que a prevalência de IC é de aproximadamente 2 milhões de pacientes em 21 anos, e sua incidência é de aproximadamente 240.000 novos casos por ano. Uma conclusão importante do estudo foi que a variação na taxa de mortalidade causada por IC é diversificada em regiões brasileiras, com ênfase no Sul, Sudeste e Nordeste. O IMG indicou autocorrelação espacial positiva ($p=0,01$) em todos os períodos. Cidades localizadas no Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-oeste mostraram maior risco relativo para mortalidade causada por IC, e a maioria das cidades da região Norte foi classificada como um fator protetivo contra esta causa de morte.

4 MATERIAIS E RESULTADOS

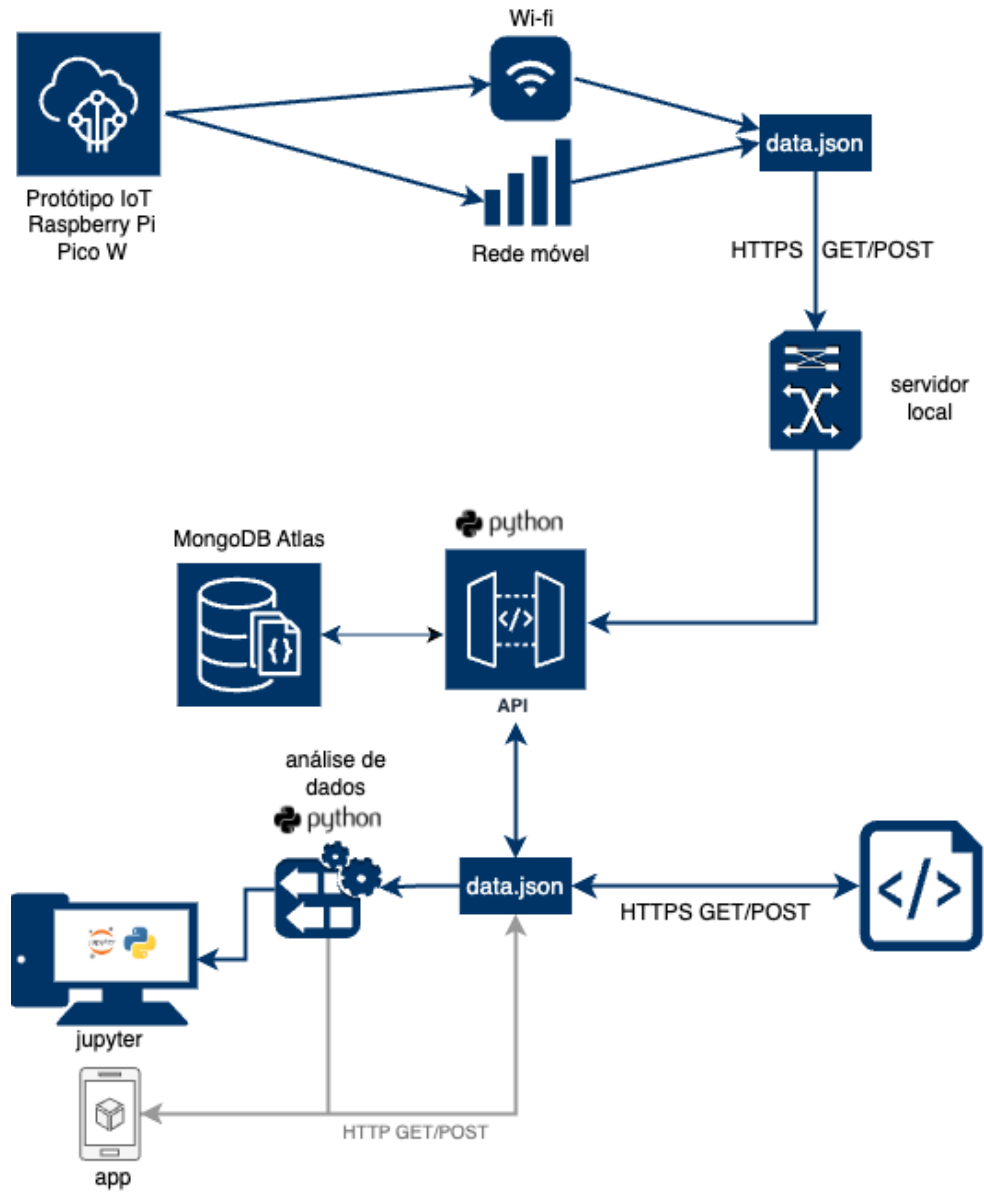
4.1 MATERIAIS

Os materiais desse projeto foram selecionados segundo a necessidade e objetivo da pesquisa. Considerando o desempenho, a disponibilidade de bibliotecas, a facilidade de aquisição e a análise técnica de acordo com a arquitetura proposta e as necessidades do projeto. O projeto é composto pela arquitetura e pela placa MX-E9 modelo DMCA124 versão 1.1/2024. A placa é composta por um microcontrolador *Raspberry Pi Pico W*, que serve de base para a prototipação da solução, um sensor AD8232 EGG de batimentos cardíacos e um sensor de batimentos cardíacos de pulso por fotodetector, um sensor ADXL345 acelerômetro de três eixos para medição da inclinação, movimentos e queda livre, um módulo GSM SIM800L para permitir a conexão à *internet*, um módulo RTC DS1307 para manter a data e hora atualizadas, além de uma bateria Li-ion 18650 de 3,7V, de um carregador de bateria Lítio TP4056 e de um *display OLED*. A pesquisa utilizou *Python* para analisar os dados e criar um servidor de aplicação local e a linguagem C para criar os códigos que rodam no módulo *Raspberry Pi Pico W*.

4.1.1 Protótipo do Projeto

A Figura 10 apresenta a arquitetura proposta na implementação do projeto. O protótipo IoT coleta os dados do paciente por meio de sensores e os transmite via redes móveis de 2G, 3G, 4G e 5G ou Wi-Fi para um servidor local onde é executado a API que, então, os envia para um servidor *cloud MongoDB Atlas*. Os dados trafegam no formato *data.json* e o banco de dados armazena todos os dados e possibilita a análise e a consulta dos dados através das requisições na API.

Figura 10: Arquitetura proposta para a implementação do projeto.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para a execução do protótipo, foram necessários diversos componentes. A Tabela 3 apresenta todos os componentes utilizados para a elaboração do protótipo de solução.

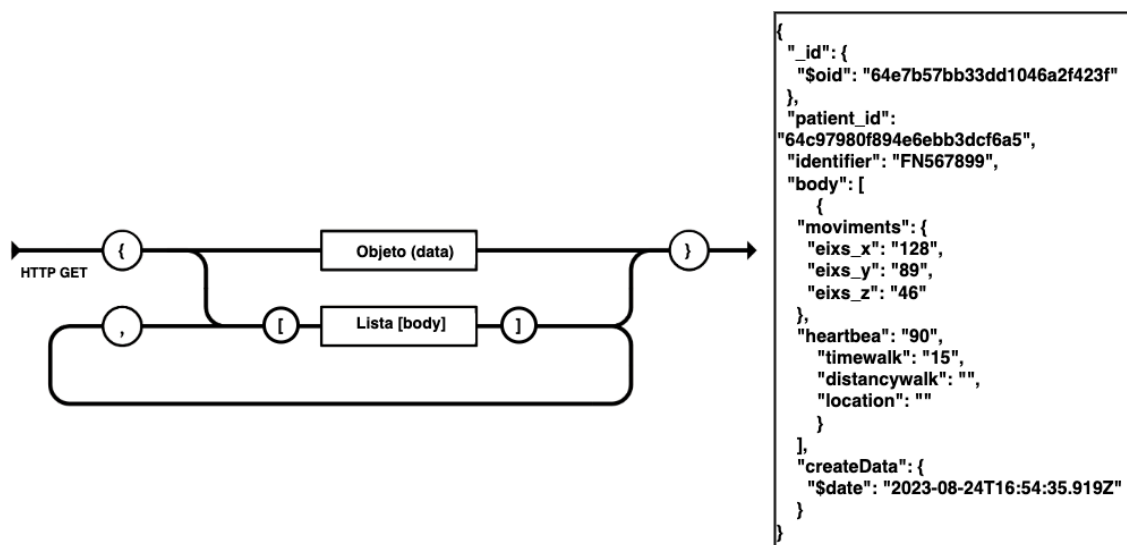
Tabela 3: Lista de componentes utilizados no protótipo do projeto.

Qtde.	Componente	Descrição do componente
1	Raspberry Pi Pico W	Módulo com WiFi e bluetooth, RP2040 (Dual-Core)
1	ADXL345	Módulo ADXL345 de gravidade e aceleração IIC/SPI
1	GSM Gps SIM800L	Módulo slot para cartão SIM, Multi-Band LTE
1	RCT DS1307	RTC (Real Time Clock)
1	AD8232 ECG	Módulo de medição de pulso, coração e monitoramento
1	Sensor de pulso cardíaco	Módulo de pulso cardíaco
1	TP4056	Módulo Carregador de Baterias de Lítio
1	Bateria 18650 - Li-ion	Bat. 3,7v 2000mah
1	Display	Oled 0.96 I2c
4	Resistor	10K
4	LEDS	3MM

Fonte: elaborado pelo autor.

A visualização dos dados pode ser realizada por meio dos retornos das requisições na API, usando o método *GET*, que retorna os dados no formato JSON. A Figura 11 ilustra a arquitetura do objeto de retorno da requisição. A visualização dos dados também pode ser feita via plataforma de *data analytics* com *interface* de *notebook* no *Jupyter Lab*, sendo uma ferramenta para aprendizagem de máquinas e análise de dados. Outra forma de visualizar os dados pode ser por meio de um aplicativo para celulares, mas apesar de estar presente na arquitetura, não é o foco deste projeto.

Figura 11: Arquitetura do objeto *data.json* de retorno da requisição.



Fonte: adaptado pelo autor, (CROCKFORD, 2019).

4.1.2 Módulo *Raspberry Pi Pico W*

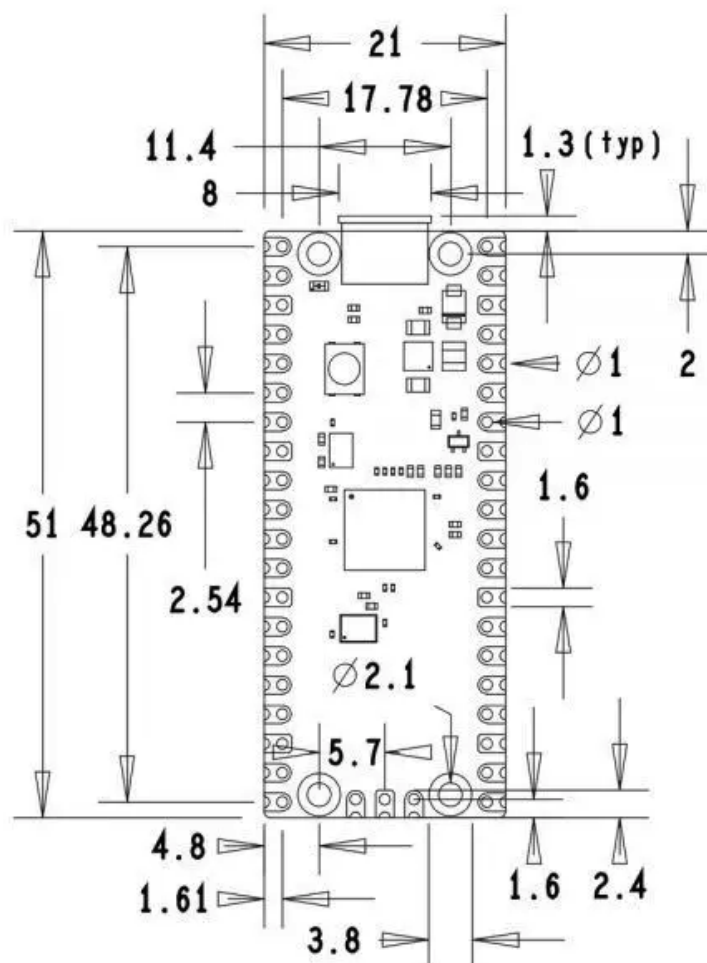
Um módulo *Raspberry Pi Pico W* é um componente físico que consiste numa placa microcontrolador de entrada/saída que permite a conexão e a comunicação com outros dispositivos ou sensores. É composto por duas partes: *hardware* e *software*. O *hardware* é composto por uma placa do tipo protótipo. O *software* é o *IDE* que permite a execução dos comandos (códigos de programação também conhecidos como *sketch*) programados em um computador e enviados *upload* na placa através da comunicação serial.

O controle do módulo é realizado por meio de um ambiente que combina um servidor local e um servidor *cloud*. A conexão com a *internet* é feita via rede Wi-Fi (*802.11b/g/n*) embutida no microcontrolador ou por meio de uma placa externa de rede móvel que pode variar de 2G à 5G (módulo GMS Gps SIM800L *Multi-Band LTE NB-IoT M2M*).

O mercado eletrônico oferece diversas placas e módulos sob licenças *open-source*. Como ambiente de prototipação, este projeto usa o módulo *Raspberry Pi Pico W*, e tem um microcontrolador RP2040, sendo um microprocessador *Dual-Core ARM Cortex M0+ — 133MHz, clock* de alto desempenho e baixo consumo de energia, com memória SRAM de 264 KB, uma porta *micro-USB-C 1.1*, produzido pela empresa *Raspberry Pi* (RASPBERRY, 2023).

Como ilustra na Figura 12, pela arquitetura e pelos números dos pinos contidos na

Figura 12: Arquitetura do módulo *Raspberry Pi Pico W*.



Fonte: (RASPBERRY, 2023).

placa, o módulo *Raspberry Pi Pico W* atende às necessidades do projeto. Quanto maior o número de pinos na placa, menor a necessidade de equipamentos adicionais para a construção do protótipo, reduzindo os custos do projeto.

As especificações do módulo, segundo (RASPBERRY, 2023), incluem uma conexão via Wi-Fi 2,4 GHz, *Bluetooth 5.2* com suporte para funções centrais e periféricas do *Bluetooth LE*, uma porta de depuração de fio serial Arm de 3 pinos *Serial Wire Debug* (SWD), *Flash Quad-SPI* externo com *eXecute In Place (XIP)*. No núcleo deste *chip* está uma *CPU Dual-Core ARM Cortex M0+* com 133MHz de clock. O *chip* suporta o desenvolvimento de aplicativos sem a necessidade de um *host MCU*. A memória *on-chip* inclui 16 KB SRAM de 264 KB e Memória flash 2 MB, como ilustra a Tabela 4.

Tabela 4: Especificações do *hardware* do módulo *Raspberry pico W*.

Características	Raspberry Pi
Microcontrolador	RP2040
CPU	Dual-Core ARM Cortex M0+ - 133MHz clock
Modelo	Raspberry Pi Pico W
Conector USB-C	1.1 Host/Device
Clock	Relógio e cronômetro precisos no chip
SRAM	264 KB
Conectividade WiFi	4 (802.11n), Single-band (2,4 GHz)
Conectividade bluetooth	Bluetooth 5.2
Memória flash	2 MB
Tensão operacional	1,8 - 3,3V I/O
Cache on-chip	16 KB
Certificação ANATEL	134082210629
Segurança	Sensor de temperatura
Segurança	Criptografia de Flash, OTP de 4096 bits
Portas GPIO	26 × multifuncionais
Portas PIO	8 × programável I/O
Criptografia	AES-128/192/256, SHA-2, RSA, RNG, HMAC
Controles	2×SPI, 2×I2C, 2×UART, 3×12-bit ADC, 16×PWM canais

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.3 Desenvolvimento de Códigos

Microcontroladores são componentes programáveis. Com linguagem de programação é possível criar códigos para serem executados nos módulos e placas.

Este projeto usou a linguagem C, sendo mais próxima da linguagem nativa (*Assembly*) dos microcontroladores. Essa característica torna a linguagem C mais eficiente (rápido na compilação de códigos e baixo consumo de memória) do que qualquer outra linguagem de alto nível listada na Tabela 1. O (IEEE, 2022), também apresenta a linguagem C na segunda posição entre as linguagens de programação mais utilizadas no mundo em 2022. Diversos estudos demonstram que a linguagem C é a linguagem número um no conceito *Greenest Programming Languages* (GPL) linguagens de programação mais ecológicas. Ela é mais otimizada quanto ao consumo de energia, tempo de execução e memória utilizada para executar tarefas.

Um estudo conduzido por (PEREIRA et al., 2017), mediu em *joules* e listou as cinco principais linguagens que necessitam de menos energia e tempo para executar as soluções. São elas: *C(5J)*, *Rust (6J)*, *C++(8J)*, *Ada(10J)* e *Java(11J)* e, também, as cinco principais linguagens que necessitam de menos espaço de memória (em média) para executar as soluções: *Pascal (66 Mb)*, *Go (69 Mb)*, *C (77 Mb)*, *Fortran (82 Mb)* e *C++ (88 Mb)*. Em média, as linguagens compiladas demandaram 125 Mb e as interpretadas, 426 Mb. As linguagens orientadas a objetos demandaram 249 Mb, 251 Mb para as linguagens funcionais, enquanto os *scripts* demandaram 421 Mb. A linguagem *Python* é caracterizada como uma linguagem interpretada de *scripts*, imperativa, orientada a objetos e funcional. Dessa forma, a linguagem *Python* é um grande consumidor de energia e memória. Ao comparar *Python* com a linguagem C, é perceptível a discrepância no consumo de memória e energia. Com esta análise, a linguagem C se mostrou mais adequada para situações em que a questão do tempo de execução, memória e energia a serem consumidas são relevantes. Enquanto *Python* consumiu 356J, o C consumiu 5J de energia.

A pesquisa considerou essas questões na escolha da linguagem ideal, que atenda à necessidade do projeto, tendo em vista que a energia e o tempo de processamento em um dispositivo como um coração artificial são extremamente relevantes. Para este projeto, o tempo, a memória e a energia são fundamentais para o funcionamento do dispositivo e para a rotina dos pacientes.

Os códigos em C são feitos por meio de um *Integrated Development Environment* (IDE), *software* que permite a criação de *Sketches*, tais códigos são inseridos (*upload dos códigos*) no módulo, sendo compilados e enviados no armazenamento da placa para serem processados pelo microprocessador. Para isso ser possível, é necessária a conexão da placa a um computador via porta USB que possibilite a realização de *upload* dos códigos na memória da placa (MULTILOGICA-SHOP, 2017).

Segundo (MULTILOGICA-SHOP, 2017), no livro *Arduino, Guia Iniciante* explica a estrutura do *software* de programação para Módulos e Arduino. São duas as principais funções que todo programa deve ter. A função *setup* e a função *loop*. A função *setup* é chamada quando o programa começa a ser executado, cabendo a ela dar início às variáveis, aos modos dos pinos e às bibliotecas, dentre outras tarefas. Essa função será executada somente uma vez depois que a placa for ligada ou reiniciada. A função *loop()* cumpre o que o nome sugere, entrando em looping, executando o mesmo bloco de código e permitindo que o programa realize alterações e responda.

Sketches: é escrito no editor Arduino e salvo com a extensão *arquivo.ino*. A função deste editor é cortar, colar e buscar/substituir texto. A área de mensagem exibe *feedback* ao salvar e exportar arquivos e também apresenta erros ao compilar *Sketches*. Os botões da barra de ferramentas permitem que o usuário visualize, carregue, crie, abra e salve *Sketches* ou abra o monitor serial (MULTILOGICA-SHOP, 2017). A compilação dos códigos na memória do microcontrolador é ilustrada pela Figura 13, que apresenta códigos desenvolvidos em linguagem C para a leitura de sensores, configuração para conexão a redes, métodos de coleta e transmissão de dados.

Figura 13: *Sketch* programação dos módulos.

```
projeto_iot_ca.ino
15 #define HEART_RATE_SENSOR_LO1 2 // Setup for leads off detection L0 -
16 #define HEART_RATE_SENSOR_LO2 3 // Setup for leads off detection L0 +
17 #define HEART_RATE_SENSOR_OUTPUT 26 // port 26_A0
18
19 #define ACCELEROMETER_SENSOR_LCS 27
20 #define ACCELEROMETER_SENSOR_SDA 28
21 #define ACCELEROMETER_SENSOR_SDO 26
22 #define ACCELEROMETER_SENSOR_CS 9
23
24 #define LED_YELLOW 16
25 #define LED_GREEN 17
26
27 //VARIABLE
28 float X_axis = 0, Y_axis = 0, Z_axis = 0;
29 const float E_DELAY = 1;
30 const int _DELAY = 1000;
31 const int VALUE = 1;
32 const int DIVIDING = 256;
33 int ADXL345 = 0x53;
34
35 float HEART_RATE_SENSOR = 0;
36
37 const char* ssid = "@Muxito1711";
38 const char* password = "netapta@1711";
39 const char* identifier = "FN567899";
40 const char* endPointPOST = "http://127.0.0.1:8000/api/data/create";
41 const char* endPointGET = "http://127.0.0.1:8000/network/FN567899";
42
43 unsigned long lastTime = 0;
44 unsigned long timerDelay = 5000;
45
46 void connect_to_network(){
47 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
48
49 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
50
51 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
52
53 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
54
55 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
56
57 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
58
59 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
60
61 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
62
63 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
64
65 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
66
67 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
68
69 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
70
71 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
72
73 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
74
75 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
76 // ===== CONNECT TO NETWORK =====
77 Serial.print("IP: ");
78 Serial.print(WiFi.localIP().toString().c_str());
79 Serial.println("");
80
81 // == Read hearth beat data AD8232ECG ==
82 if((digitalRead(HEART_RATE_SENSOR_LO1) == 1)
83 ||(digitalRead(HEART_RATE_SENSOR_LO2) == 1)){
84 | Serial.println("!");
85 }
86
87 else{
88 HEART_RATE_SENSOR = analogRead(HEART_RATE_SENSOR_OUTPUT);
89 Serial.print(HEART_RATE_SENSOR);
90 Serial.println(" bpm");
91 Serial.println();
92 }
93 delay(E_DELAY);
94
95 // == Read accelerometer data ADXL345==
96 Wire.beginTransmission(ADXL345);
97 Wire.write(0x32);
98 Wire.endTransmission(false);
99 Wire.requestFrom(ADXL345, 6, true);
100
101 X_axis = ( analogRead(ACCELEROMETER_SENSOR_LCS) << 8);
102 X_axis = ( analogRead(ACCELEROMETER_SENSOR_SDA) << 8);
103 Z_axis = ( analogRead(ACCELEROMETER_SENSOR_SDO) << 8);
104
105 Serial.print("Xa= ");
106 Serial.print(X_axis/DIVIDING);
107 Serial.print(" Ya= ");
108 Serial.print(X_axis/DIVIDING);
109 Serial.print(" Za= ");
110 Serial.print(X_axis/DIVIDING);
111 Serial.println();
112 }
```

Fonte: elaborado pelo autor.

A Linguagem *Python*, foi a linguagem utilizada para a criação de *scripts*, API e análise de dados. Segundo (IEEE, 2022), *Python* é a linguagem de programação mais utilizada no mundo em 2022, ocupando a primeira posição no *ranking* com 100% de *Spectrum* (visão, utilidade). Fora essa posição, a linguagem é ideal para análise e mineração de dados e é ótima para programação *back-end* de API's. O projeto utilizou *Python 3.12.4* para a construção da API.

Banco de Dados *MongoDB*: é o mais utilizado entre os bancos de dados NoSQL (banco de dados não relacionais) para a construção de armazenamento. É uma ótima ferramenta para a arquitetura de *cluster*, pois não fragmenta os dados. Este é um banco de dados de código aberto, o que o torna ideal para a criação de armazéns de dados de alto desempenho (CHAUHAN, 2019). A utilização do banco de dados *MongoDB* permite ao projeto armazenar os dados de forma prática, segura, atendendo ao desempenho e à escalabilidade do banco. Os dados estão no servidor da nuvem *MongoDB Atlas*. Trata-se de um banco de dados em várias nuvens que pode ser escolhido pelo pesquisador segundo as necessidades e a viabilidade do projeto. A Figura 14 apresenta os dados armazenados no banco de dados da nuvem.

Figura 14: Modelo de dados armazenado no banco de dados do *MongoDB atlas*.

```
_id: ObjectId('6598d091733511a437f20641')
patient_id: "6598cff3733511a437f2063f"
identifier: 5893643
body: Array (2)
  0: Object
    movements: Object
      X: 123
      Y: 82
      Z: 567
    heartbeat: 104
    location: "SP"
    datecollect: "2023-12-11T11:54:35.919+00:00"
  1: Object
    movements: Object
      X: 154
      Y: 79
      Z: 81
    heartbeat: 167
    location: "SP"
    datecollect: "2023-11-29T20:56:35.919+00:01"
datecreate: 2024-01-06T01:01:21.753+00:00
```

Fonte: elaborado pelo autor.

O *MongoDB Atlas* simplifica a implantação e o gerenciamento de seus serviços, oferecendo a versatilidade necessária para a criação de aplicativos globais resilientes e de alto desempenho nos provedores de nuvem à escolha do cliente (ATLAS, 2023). O *cluster-iot* deste projeto foi criado na nuvem grátis *Amazon Web Services* (AWS) na versão 6.0.6, na região de São Paulo (*sa-east-1*) *Clouster Tier 'M0 Sandbox (General)'*. O projeto usa *MongoDB Compass*, uma ferramenta interativa para consultar, otimizar e analisar os dados.

A escolha do banco de dados *MongoDB Atlas* se deve à escalabilidade, flexibilidade, alto desempenho e ao modelo de uso da nuvem gratuito, com armazenamento de até 0,5 GB no *Clouster M0*, o que reduziu os custos de implantação do projeto.

4.2 RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa, conforme o problema levantado e a solução proposta, estão relacionados à coleta de dados por meio de sensores do aparelho de monitoramento de coração artificial e à análise dos dados para compreender o quadro clínico e o acampamento da saúde dos pacientes. O banco de dados apresenta 472 registros, sendo número significativo e relevantes para análise, composto pelos dados dos sensores de batimentos cardíacos, acelerômetro, localização, data e hora da coleta dos dados e, sendo esses dados transmitidos do módulo *Raspberry Pi Pico W* para o servidor local de aplicação.

As ferramentas de análise empregadas agrupam os elementos relevantes dos dados em gráficos, figuras e indicadores, simplificando a compressão dos resultados alcançados.

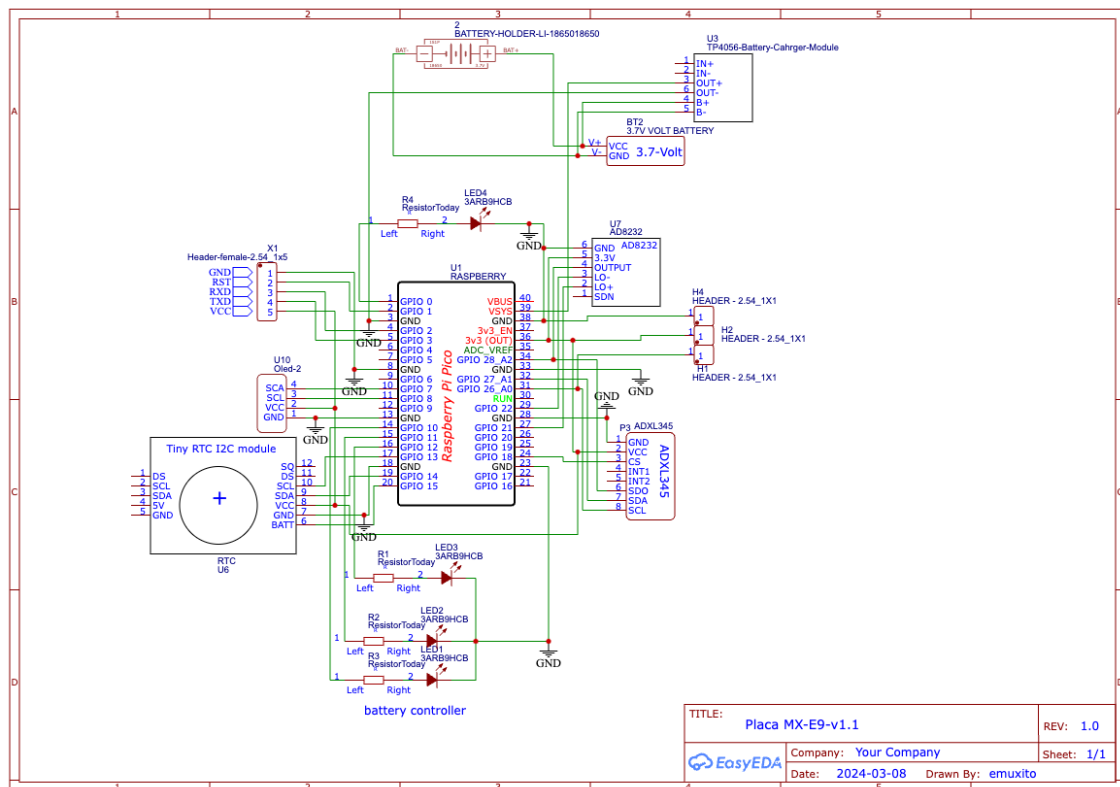
4.2.1 Configurações de Componentes

A configuração dos módulos e componentes, mostrada na Figura 15, apresenta o *layout* do projeto. A placa MX-E9, modelo DMCA124, versão 1.1/2024, é composta por um módulo de sensor de batimento cardíaco AD3282 (U7) e três pinos para conectar sensor de batimento cardíaco para medição de pulso por fotodetector (H1, H2, H4), que capta sinais vitais do coração biológico. Adicionalmente, o dispositivo de acelerômetro com três eixos ADXL345 (P3) coleta informações sobre inclinação, queda livre e movimento dinâmico. O módulo (X1) visa conectar o GSM SIM800L, possibilitando que o protótipo conecte-se à *internet* por meio de uma rede móvel. O esquema inclui um soquete para a tela OLED (U10), um relógio em tempo real (RTC) (P1), um *LED* com resistores que indicam quando os sensores estão coletando informações, um módulo (U3) TP4056 para recarregar a bateria, um módulo (U5) para conectar bateria de lítio, um painel de controle do nível da bateria composto por três leds (vermelho, amarelo e verde) e um microcontrolador Raspberry Pi Pico W (U1).

Os sinais vitais do coração biológico são coletados pelos sensores de batimentos cardíacos através da comunicação por portas seriais do módulo *Raspberry Pi Pico W* e *software* desenvolvido em linguagem C, como mostra a Listagem 4 executado na placa MX-E9 para coletar, filtrar e calibrar os dados. Este código está disponível no arquivo *github* do autor, anexo no Apêndice. Por meio de uma rede móvel ou Wi-Fi usando o protocolo *TCP/IP*, o método *Send data to API* envia os dados para um servidor local de aplicação que os salva no banco de dados *MongoDB Atlas*.

A Figura 16 apresenta o PCB da placa MX-E9 na versão 1.1. Ele é composto por 9,17 mm x 110,49 mm, com duas camadas, intervalo de 50 mil entre as linhas, largura de 30 mil para as conexões dos GNDs e largura de 20 mil para as demais conexões. A descrição da placa inclui o nome, modelo, versão e ano de fabricação, sendo que o modelo DMCA124 significa Dispositivo de Monitoramento do Coração Artificial, versão 1 fabricado em 2024.

Figura 15: Esquema do protótipo MX-E9 na versão 1.1.

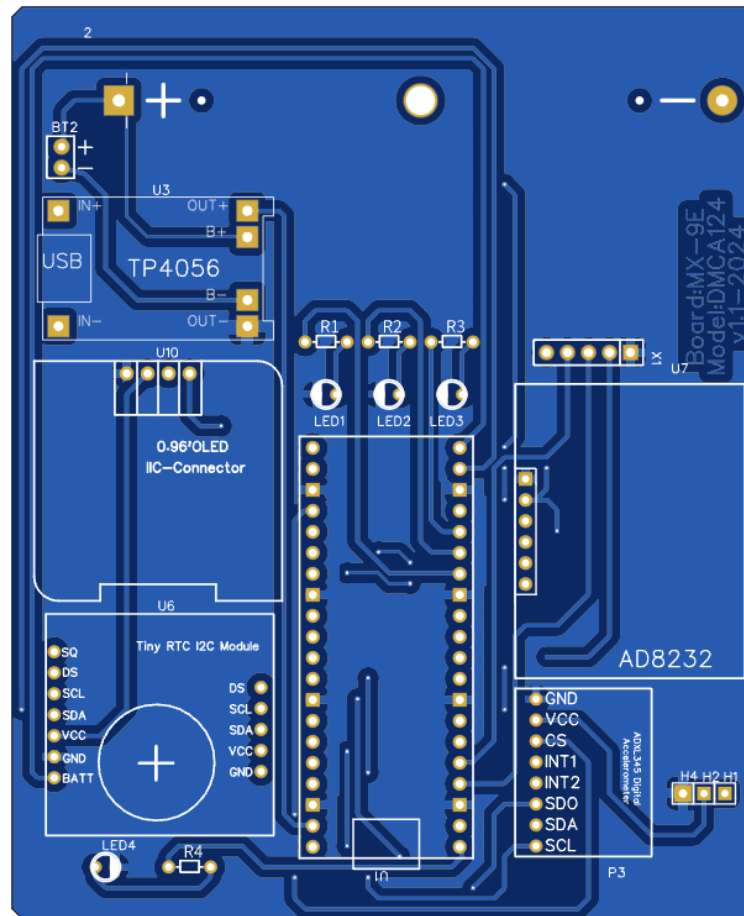


Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 17 exibe a placa de circuito montada e funcionando. Compreende a realização de um dos objetivos do projeto, de fornecer um dispositivo para a coleta de dados e acompanhamento dos pacientes. A placa MX-E9 é um dispositivo portátil que permite que os pacientes se locomovam durante o uso, com uma bateria recarregável que pode manter uma corrente de 2,6Ah.

A comunicação dos componentes com o módulo *Raspberry Pi Pico W* é feita por meio de *interface* serial e digital. Os módulos possuem pinos *General Purpose Input/Output* (GPIO) ou pinos de entrada/saída de uso geral que permitem a programação direta (BORGES, 2017).

Figura 16: PCB da placa MX-E9 na versão 1.1.



Fonte: elaborado pelo autor

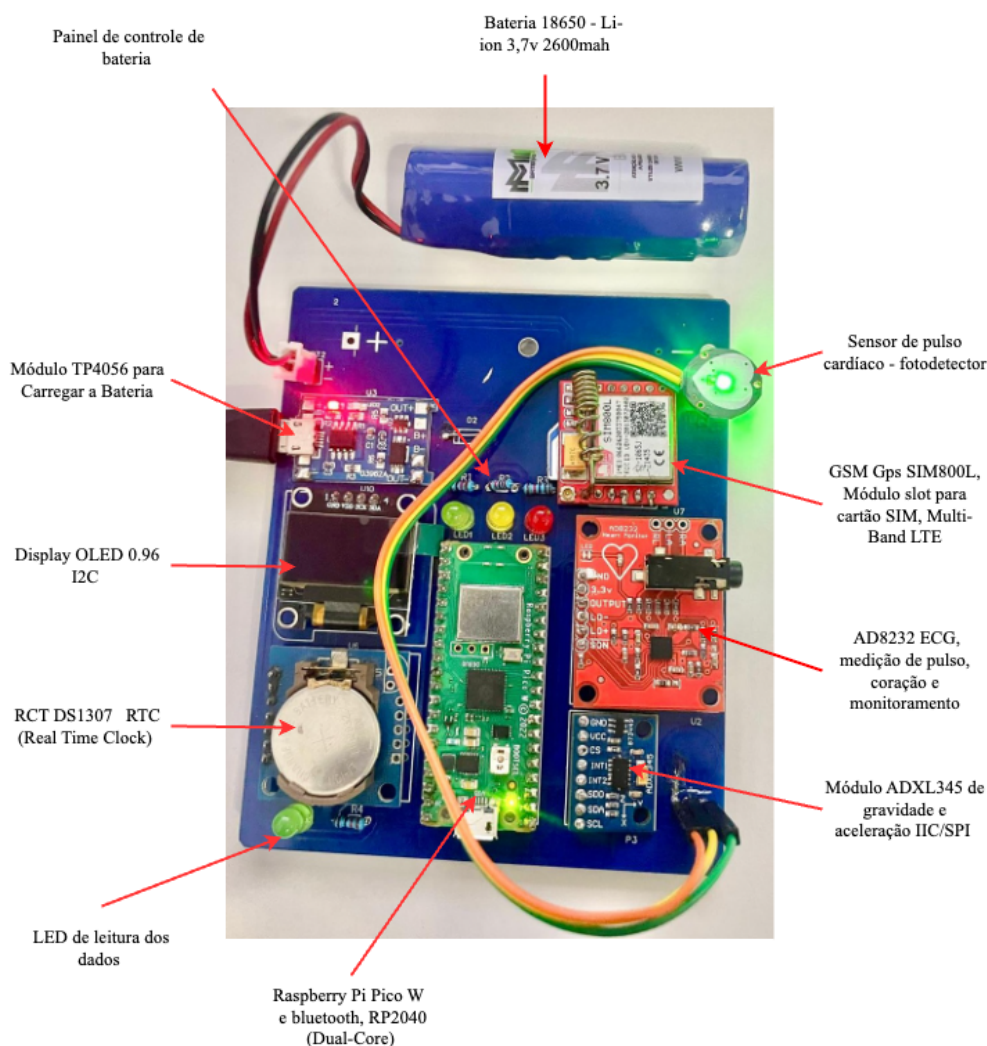
A autonomia da placa MX-E9 é estimada com base na fonte de alimentação (bateria 18650 de 2,6 Ah) para uma duração de até 1 hora. O cálculo do consumo do dispositivo é feito com base no consumo dos componentes. O módulo *Raspberry Pi Pico W* é estimado com um consumo de 150mA, o sensor AD8232 com 50mA, sensor de pulso por fotodetector com 50mA, o módulo RTC DS1307 com 1,5mA, o módulo SIM800L com 1,04mA, o LED 3 mm com um consumo de 20mA, o display OLED com 20mA e o módulo TP4056 com um consumo de 1500mA.

Calcular do consumo da placa (CCP):

$$\begin{aligned}
 CCP &= 150mA + 50mA + 50mA + 1,5mA + \\
 &1,04mA + (20mA \times 4) + 20mA + 1500mA \\
 &= 1.852mA \implies 1,852Ah
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Segundo os cálculos da Equação 1, o consumo do dispositivo de monitoramento é

Figura 17: Funcionamento da placa MX-E9 na versão 1.1.



Fonte: elaborado pelo autor.

estimado em cerca de 1.852mA ou 1,852Ah. Além disso, a placa permite a conexão de baterias externas, tais como *Power Bank* por meio da porta Micro-USB.

Os sensores de batimentos cardíacos Ad8232 e o sensor de pulso por fotodetector foram selecionados no projeto, consoante a análise comparativa entre os componentes, visando identificar as diferenças na coleta de dados, tendo em vista a forma diferente como cada um coleta os dados da frequência cárdica.

Segundo (ANALOG, 2013), define o módulo AD8232 como um bloco de condicionamento de sinal integrado para Eletrocardiograma (ECG) e outras aplicações de medição biopotencial. É projetado para captar, amplificar e filtrar sinais biopotenciais em condições

ruins, tais como movimentos ou colocação de eletrodos remotos. O módulo possui um conversor analógico/digital ultrabaixo *Analog-to-Digital Converter* (ADC) ou um microcontrolador integrado para obter o sinal de saída facilmente. O AD8232 possui um filtro passa-alta com dois polos que elimina artefatos de movimento e o potencial de meia célula do eletrodo. Esse filtro está fortemente acoplado à arquitetura de instrumentação do amplificador, permitindo grandes ganhos e filtragem passa-alta em um único estágio, significando economia de espaço e custo. O amplificador embutido no AD8232 permite que se crie um filtro passa-baixa para eliminar o ruído adicional. O utilizador tem a opção de selecionar o corte de frequência de todos os filtros para atender a diferentes tipos de aplicações.

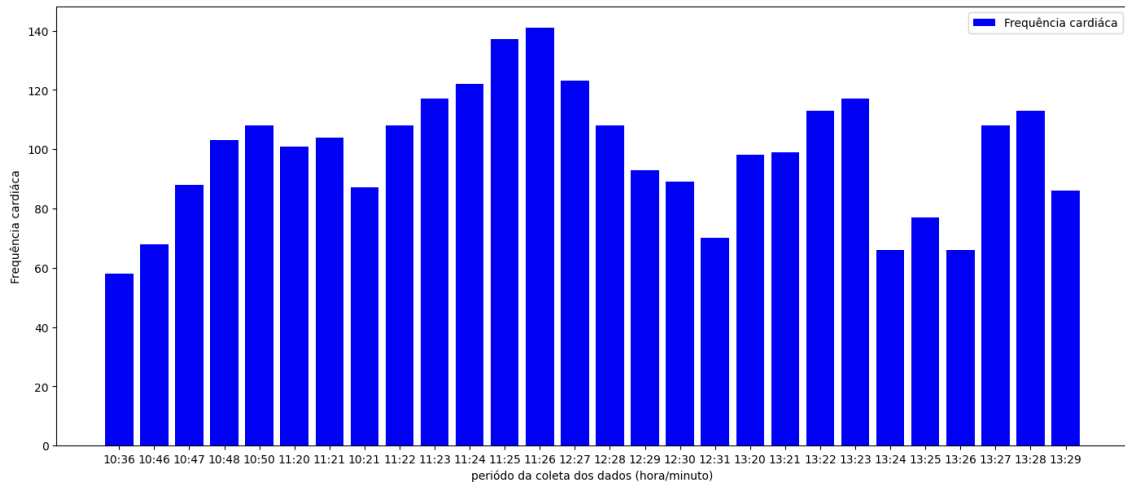
Segundo (ANALOG, 2013), para melhorar a rejeição das frequências de linha no sistema e outras interferências indesejadas, o AD8232 inclui um amplificador para aplicações, como movimentação da perna *Right Leg Driving* (RLD). Após uma mudança repentina de sinal que prejudique o amplificador, o AD8232 se adapta automaticamente para um corte de filtro mais alto. Esse recurso permite que o AD8232 consiga fazer medições precisas rapidamente depois que conectar os eletrodos ao sujeito. O AD8232 está disponível em uma versão *Lead Frame Chip Scale Package* (LFCSP) de 4 mm × 4 mm. O desempenho é especificado entre 0°C e 70°C e é operacional entre -40°C e +85°C.

O sensor de pulso por fotodetector é um dispositivo de monitoramento da frequência cardíaca, modelo SM-S4303R, da OEM, com tensão de operação de 3V ou 5V DC, dimensões de 16mm de largura x 16mm de profundidade x 3mm de altura, peso de 5g e consumo de energia (4mA).

Os sensores de batimento cardíaco AD8232 e pulso por fotodetector estão instalados no protótipo, registrando as variações nas frequências cardíacas causadas pelas alterações sofridas pelo paciente. O propósito é monitorar a saúde cardiovascular por meio de dispositivos, incluindo a análise dos sinais de ECG, que indicam o ritmo e as variações dos batimentos cardíacos. A Figura 18 apresenta as informações coletadas pelos sensores de batimento cardíaco, coletados com pacientes em repouso, caminhada até em corrida. O eixo X no gráfico representa a hora e o minuto, enquanto o eixo Y representa a frequência cardíaca. Ao examinar o gráfico, nota-se um aumento significativo na frequência cardíaca, chegando a 141 bpm às 12h26 da tarde, indicando aceleração no início de uma corrida.

Já às 12h26, houve uma diminuição da frequência cardíaca, indicando uma desaceleração repentina e, conseqüentemente, uma redução das 12h28 às 12h31.

Figura 18: Modelo de dados coletados pelo sensor de frequência cardíaca AD8232 ECG.



Fonte: adaptado e traduzido pelo autor, (MUXITO; AKAMINE, 2024).

O módulo SIM800L é um módulo GSM/GPRS *quad-band* que funciona nas frequências GSM 850 MHz, GGSM 900 MHz, DCS 1800 MHz e PCS 1900 MHz. O SIM800L possui GPRS *multi-slot class10/class12* (opcional) e suporta os esquemas de codificação *GPRS CS-1, CS-2, CS-3 e CS-4*. Com uma dimensão de 17,6*15,7*2,3 mm, o SIM800L pode suprir praticamente todos os requisitos de espaço em aplicações, tais como *smartphones*, aplicações IoT e outros dispositivos móveis (SIMCOM, 2015).

O módulo está encapsulado em *Surface Mount Technology (SMT)* composto por 42 pinos que fornece todas as *interfaces de hardware* entre o módulo e as placas. Uma porta serial de três linhas e uma porta serial de modem completa; um USB, que pode ser depurado e baixado *software*; um canal de áudio que inclui uma entrada de microfone e uma saída de alto-falante; entradas e saídas programáveis de uso geral; uma *interface* do cartão SIM, com suporte para *Bluetooth*, e uma antena *interface*. O SIM800L foi projetado utilizando a técnica de economia de energia para reduzir o consumo de corrente em cerca de 1,04mA no modo de suspensão (SIMCOM, 2015). Sua responsabilidade no projeto é permitir a conexão à *internet* via rede móvel e registrar a localização dos pacientes.

Os testes do modelo SIM800L foram realizados com um *microchip* da operadora TIM S/A, utilizando uma rede móvel 2G para a conexão à *internet*. Os testes demonstraram

ser possível enviar os dados da placa MX-E9 para a aplicação.

Segundo (MAXIM, 2017), *Real-Time Communications* (RTC) DS1307 é um relógio/calendário decimal de tempo real *Binary Coded Decimal* (BCD) completo e de baixa potência, além de 56 bytes de *Static Random Access Memory* (SRAM). Por meio de um barramento bidirecional *Inter Integrated Circuit* (I2C), o endereço e as informações são transferidos em série. Os dados do relógio/calendário incluem segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano. A data final do mês é ajustada automaticamente para meses com menos de 31 dias, inclusive para anos bissextos. O relógio opera no formato de 24 horas ou 12 horas com indicador AM/PM. O DS1307 possui um circuito integrado que identifica falhas de energia e, automaticamente, alterna a energia para a fonte de alimentação de reserva. O registro de horas permanece em funcionamento enquanto a peça estiver em operação com a fonte de alimentação de reserva. Módulo RTC DS1307: segundo (MAXIM, 2017), RTC é um relógio/calendário decimal de tempo real BCD completo e de baixa potência, além de 56 bytes de SRAM. Por meio de um barramento bidirecional I2C, o endereço e as informações são transferidos em série. Os dados do relógio/calendário incluem segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano. A data final do mês é ajustada automaticamente para meses com menos de 31 dias, inclusive para anos bissextos. O relógio opera no formato de 24 horas ou 12 horas com indicador AM/PM. O DS1307 possui um circuito integrado que identifica falhas de energia e, automaticamente, alterna a energia para a fonte de alimentação de reserva. O registro de horas permanece em funcionamento enquanto a peça estiver em operação com a fonte de alimentação de reserva.

O componente foi implementado para sincronizar e programar a data e hora da coleta dos dados dos sensores de batimento cardíaco e acelerômetro. O módulo é, tecnicamente, caracterizado pelo seguinte:

- O relógio conta os segundos, minutos, horas, mês, dia da semana e ano, com a compensação do ano bissexto válido até 2100. O conjunto inclui uma memória RAM de uso geral de 56 *bytes*, uma bateria, gravações ilimitadas do sinal de saída da onda quadrada programável, além de uma interface *interface* de porta serial simples e outra *interface* serial I2C (MAXIM, 2017);
- A operação de baixo consumo de energia prolonga o tempo de funcionamento da bateria de reserva. O componente utiliza menos de 500nA em modo de bateria de

reserva com o oscilador em funcionamento (MAXIM, 2017).

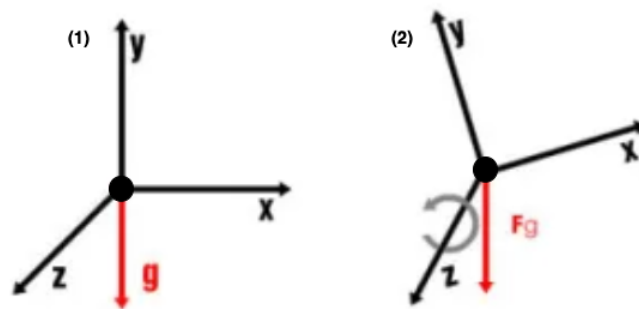
O modelo RTC externo foi introduzido no projeto para manter a data e hora atualizadas, mesmo que a bateria do dispositivo de monitoramento placa MX-E9 1.1 esteja descarregada. Devido à presença de uma bateria própria no modelo, os dados de tempo permanecerão atualizados até que a placa seja alimentada novamente.

Módulo ADXL345 é um sensor de gravidade e aceleração de baixa consumo, com um acelerômetro de três eixos e uma sensibilidade de alta resolução (13 *bits*) com medição de aceleração de três eixos numa faixa selecionável de ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g ou ± 16 g. Ele mede a aceleração estática da gravidade em aplicações, a detecção de inclinação e a aceleração dinâmica resultante de movimentos ou choques. A alta resolução (4mg/*Least Significant Bit* (LSB)) possibilita a detecção de variações de inclinação de apenas $0,25^\circ$. Os dados de saída digital são compostos por dois dos 16 *bits* complementares, e podem ser acessados por meio de uma *interface* digital *Serial Peripheral Interface* (SPI) de três fios, quatro fios ou I2C. O módulo ADXL345 tem diversas funções especiais que detecta a presença ou falta de movimento e, também, a aceleração em qualquer eixo que ultrapassa um nível definido pelo projetista do sistema. Sensor de toque detecta toques simples e duplos, enquanto o sensor de queda livre identifica se o equipamento está caindo. Essas funções podem ser mapeadas a fim de interromper pinos de saída. Uma *First In First Out* (FIFO) integrada de 32 níveis pode ser usada para armazenar dados para minimizar a intervenção do processador *host*. Os modos de baixo consumo permitem energia baseada em movimento, gerenciamento com detecção de limite e aceleração ativa, medição com dissipação de energia extremamente baixa (ANALOG, 2008).

O sensor acelerômetro ADXL345 mede a aceleração através da força gravitacional à qual o sensor está submetido. Ao medir a inclinação, consegue identificar o movimento de rotação e gestos exercidos, como balançar ou agitar um objeto em que está conectado (LYRA, 2022). O módulo tem três eixos, como mostra a Figura 19, (eixo X que indica inclinação, Y que indica queda livre e Z que indica movimento dinâmico de um objeto). Dada uma captura de dado de um determinado eixo, é possível identificar em que posição (horizontal/vertical) o paciente está. Sua responsabilidade é coletar quaisquer dados referentes à queda, inclinação e movimentos do paciente, visando acelerar ou desacelerar a bomba do coração artificial.

O cenário (1) apresentado na Figura 19 demonstra uma situação em que o acelerômetro está em estado inicial ou de repouso, pousado em uma superfície plana. Os valores informados pelos sensores serão de $X = 0$, $Y=0$ e $Z = -1$. Já o gráfico (2) representa a rotação do eixo X para cima. Os valores enviados pelo sensor serão: $X = 1$, $Y = 0$ e $Z = 0$. O eixo vermelho (Fg “Força gravitacional”) representa a força exercida pelo eixo (LYRA, 2022).

Figura 19: Eixos do sensor acelerômetro ADXL345.



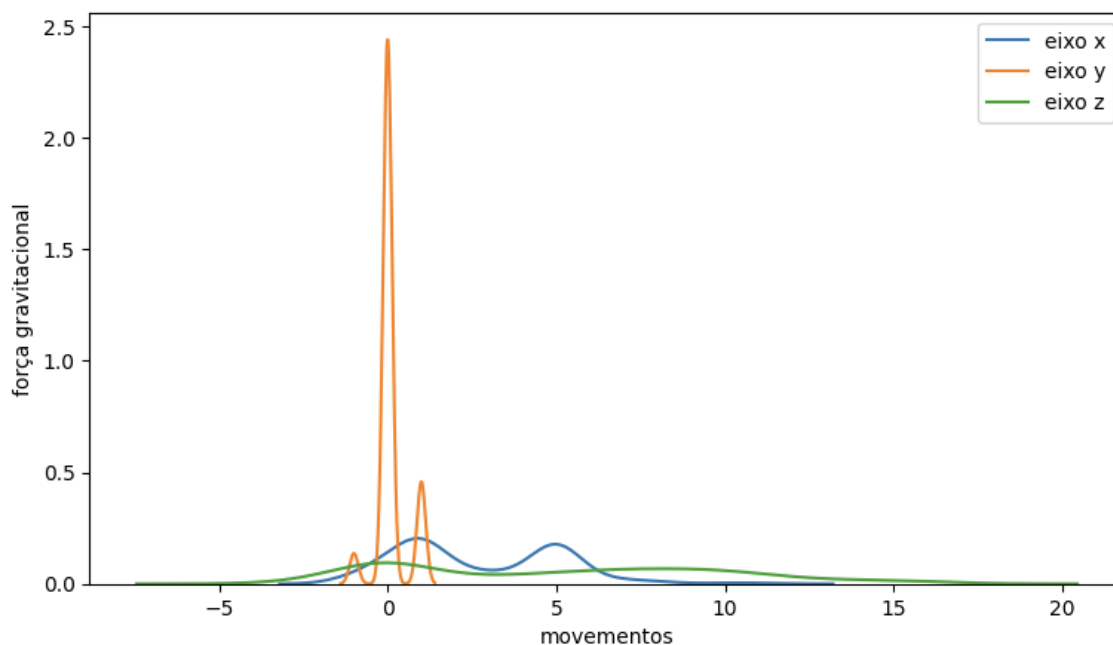
Fonte: adaptado pelo autor, (LYRA, 2022).

O gráfico apresentado na Figura 20 ilustra os dados coletados pelo sensor acelerômetro. No presente cenário, o eixo Y do gráfico representa a força gravitacional possível e, o eixo X, os dados de movimentos. Examinando o gráfico conforme a descrição da legenda, nota-se o pico no eixo Y do sensor, o que significa que, durante a coleta dos dados, não houve queda livre. O eixo X teve uma leve inclinação, o que indica que houve momentos em que o paciente deitou-se ou abaixou. Já o eixo Z teve um aumento significativo na aceleração chegando a 15 movimentos/min, indicando uma caminhada em passos largos ou até mesmo corrida.

A configuração dos módulos permite a coleta de todos os dados dos sinais vitais gerados pelo coração artificial. O módulo *Raspberry Pi Pico W* envia os dados dos sensores na API por meio da requisição com uma lista de objetos JSON, como ilustra a Figura 21.

Tais dados possibilitam monitorar o quadro clínico dos pacientes. Com os dados processados, é possível perceber a rotina dos pacientes e fazer com que o sistema de monitoramento da bomba do coração artificial tome decisões sem a necessidade constante de interação humana. O módulo sensor ADXL345 detecta movimentos, aceleração ou desa-

Figura 20: Modelo de dados de movimento coletados pelo sensor acelerômetro ADXL345.



Fonte: elaborado pelo autor.

celeração do corpo. Os sensores de batimentos cardíacos fazem a medição das frequências cardíacas dos pacientes. Combinados os dados, é possível perceber as mudanças na rotina dos pacientes e determinar o estado atual na qual o paciente se encontra. Ao perceber que o paciente está se movimentando, por exemplo, o sensor de ritmo cardíaco e o sensor de posição e movimentos (acelerômetro) identificam as alterações e a bomba é acionada para bombear sangue na quantidade necessária consoante a atividade desempenhada pelo paciente. Durante um exercício físico, o coração precisa receber mais sangue, o que requer que o motor da bomba centrífuga do coração artificial aumente sua rotação em uma porcentagem determinada pelos médicos. Essa avaliação diminui a necessidade do paciente acionar o botão físico para acelerar a bomba, deixando a ação manual do botão como redundância. O objetivo é que a inteligência do dispositivo, por meio de sensores, seja responsável e capaz de perceber as mudanças e gerenciar a demanda. O módulo SIM800L registra a localização do paciente e permite a conexão à *internet* por meio de uma rede móvel, fornecendo a transmissão dos dados para um servidor local de aplicação que armazena os dados no banco de dados da nuvem.

Figura 21: Modelo do objeto para o envio a API contendo os dados coletados dos sensores.



```
projeto_iot_ca.ino
212
213 ANALOG_ACCELEROMETER_SENSOR_LCS_X.update();
214 ANALOG_ACCELEROMETER_SENSOR_SDA_Y.update();
215 ANALOG_ACCELEROMETER_SENSOR_SDO_Z.update();
216 ANALOG_HEART_BEAT_SENSOR_OUTPUT.update();
217 ANALOG_HEART_BEAT_PULSE_INPUT.update(pulseSensor.getBeatsPerMinute());
218
219 int SENSOR_MAP = 0;
220 if((digitalRead(HEART_BEAT_SENSOR_L01) != 1) || (digitalRead(HEART_BEAT_SENSOR_L02) != 1)){
221     HEART_BEAT_SENSOR = ANALOG_HEART_BEAT_SENSOR_OUTPUT.getValue();
222     HEART_BEAT_SENSOR_TYPE = 1;
223     SENSOR_MAP = map(HEART_BEAT_SENSOR, 500, 951, 50, 220);
}

Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'Raspberry Pi Pico W' on '/dev/cu.usbmodem11201') New Line 9600 baud

}{
  "X": 5,
  "Y": 0,
  "Z": 3,
  "heartBeat": 90,
  "heartBeatSensorType": 2,
  "dateCollect": "2024-6-1",
  "timeCollect": "18:52:36"
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

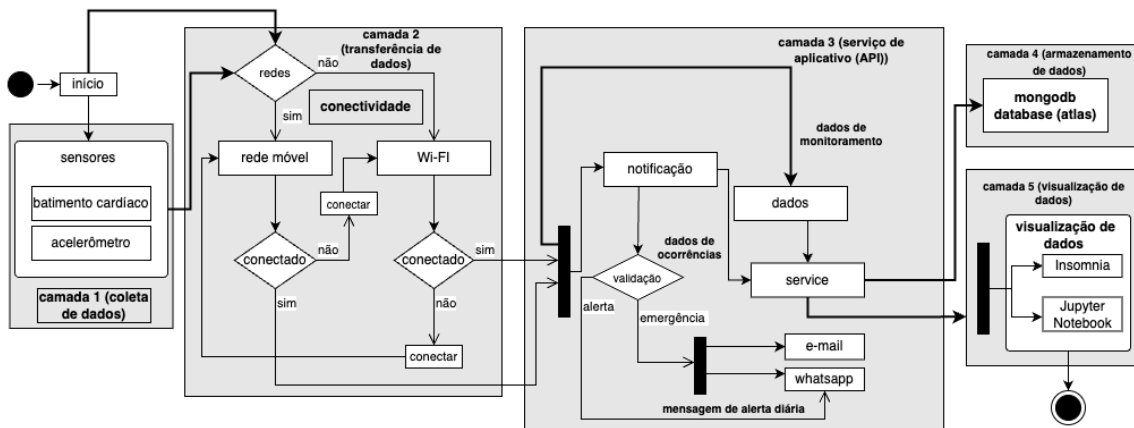
4.2.2 API Restful

Os dados são enviados para um servidor de aplicação local (API RESTfull) criado em *Python* que mantém as informações no banco de dados da nuvem *MongoDB Atlas* e simplifica a busca pelos dados para análise. O campo identificador armazena o número do aparelho (coração artificial) de cada paciente. Com este número são salvos os dados coletados pelos sensores no banco através do método HTTPS *POST* no *end point* da API, como ilustra Listagem 1. A Figura 22 apresenta o diagrama de estado do projeto, composto por cinco camadas. Ao ligar o dispositivo, as camadas 1 e 2 são iniciadas. A camada 1 coleta os dados dos sensores e os envia à camada 3 através da camada 2. Na camada 2 de transferência de dados, as conexões de rede são verificadas. Os dados são enviados para a API em um *endpoint* específico através da rede móvel. Se a rede estiver desconectada, a transferência é feita pelo Wi-Fi.

Os dados de monitoramento são enviados diretamente ao serviço que os armazena no banco de dados da Camada 4. Em caso de notificação, os dados da ocorrência são mantidos no banco de dados para fins de manutenção de registros. O serviço de notificação verifica se a notificação é uma emergência (1) ou um alerta (2). Caso seja do Tipo 1, em que a emergência é caracterizada por parada cardíaca ou detecção de queda livre, os contatos

de emergência registrados na lista de contatos do paciente são comunicados por e-mail e mensagens no *WhatsApp*. Se o caso for do Tipo 2, caracterizado por uma mudança repentina na rotina do paciente, como acelerar os passos, correr e monitorar a carga da bateria do dispositivo, uma mensagem do *WhatsApp* é enviada ao paciente. A Camada 5 fornece acesso à consulta de dados.

Figura 22: Modelo de especificação do protótipo.

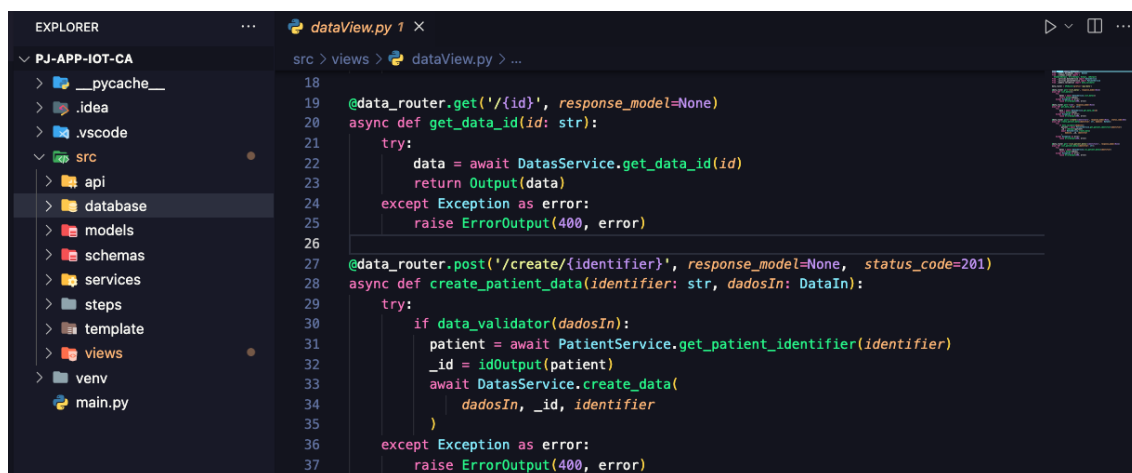


Fonte: adaptado e traduzido pelo autor, (MUXITO; AKAMINE, 2024).

A Figura 23 mostra o *end point* que armazena os dados. O *end point Create Datas* recebe os dados dos sensores por meio de requisições do método *HTTPS POST*, dentro do *Model JSON* chamado de *DatasIn*, com todos os dados coletados pelos componentes e sensores, e um campo *identifier* que identifica o paciente. Uma classe de validação verifica os campos obrigatórios, retornando *True*, caso não haja erros no *Request Object*. Um método no *Service (DatasService)* recebe o objeto e salva os dados no banco de dados *MongoDB*.

Uma lista de contatos de emergência é criada no banco de dados para garantir a proteção dos pacientes em emergências. Ao registrar os dados do paciente no sistema, também é possível cadastrar na lista telefônica até três contatos de emergência, sendo eles: do médico e de mais duas pessoas responsáveis ou de pessoas que podem ser úteis em caso de emergência. O cadastro da lista telefônica requer o nome do contato, número de telefone que tenha conta no *WhatsApp*, *E-mail*, grau parentético e posição do contato (campo que indica a relevância do contato, no caso, o número do médico do paciente ocupa a primeira posição, dada a sua relevância).

Figura 23: *End point* da API para salvar os dados no banco.



```
EXPLORER
PJ-APP-IOT-CA
  > __pycache__
  > .idea
  > .vscode
  > src
    > api
    > database
    > models
    > schemas
    > services
    > steps
    > template
    > views
  > venv
  > main.py

src > views > dataView.py > ...
18
19 @data_router.get("/{id}', response_model=None)
20 async def get_data_id(id: str):
21     try:
22         data = await DatasService.get_data_id(id)
23         return Output(data)
24     except Exception as error:
25         raise ErrorOutput(400, error)
26
27 @data_router.post('/create/{identifier}', response_model=None, status_code=201)
28 async def create_patient_data(identifier: str, dadosIn: DataIn):
29     try:
30         if data_validator(dadosIn):
31             patient = await PatientService.get_patient_identifier(identifier)
32             _id = idOutput(patient)
33             await DatasService.create_data(
34                 dadosIn, _id, identifier
35             )
36     except Exception as error:
37         raise ErrorOutput(400, error)
```

Fonte: elaborado pelo autor.

Para identificar a emergência, a faixa de batimentos cardíacos foi configurada no intervalo de 45 a 220 bpm. A queda livre é identificada pelo eixo Y do acelerômetro quando o valor for superior a 10. Se o acelerômetro indicar uma queda ou o sensor de batimentos cardíacos indicar valores inferiores a 45 e, superiores a 220 bpm. O dispositivo de monitoramento envia uma solicitação pelo método *HTTPS POST*, contendo os seguintes dados: dados coletados (queda, batimentos cardíacos ou mau funcionamento do dispositivo), tipo de ocorrência (parada cardíaca, queda livre, aumento da frequência cardíaca, diminuição significativa da frequência cardíaca ou mau funcionamento do dispositivo), data da ocorrência e localização do paciente capturado pelo *Global Positioning System* (GPS). Além disso, o método *send notification* notifica os contatos de emergência. A Listagem 2 apresenta os códigos do método (*send notification*) de envio de notificações.

A Figura 24 apresenta o modelo de mensagem do serviço de notificação de coração artificial. A mensagem apresenta um cabeçalho identificando o remetente do e-mail, um texto indicando a alerta. O conteúdo da mensagem é composto por saudações e nome do destinatário, um texto informativo com o nome do paciente em referência e detalhes da ocorrência, contendo: grau parentesco, a ocorrência, localização, tipo da ocorrência e data da ocorrência.

Após o envio das mensagens de emergência, os dados da ocorrência são salvos no banco na tabela *HistoryCorrencia*, a fim de manter o histórico das ocorrências do paciente e, assim, facilitar a análise.

Figura 24: Modelo de alerta de emergência do serviço de notificação de coração artificial.



Fonte: elaborado pelo autor.

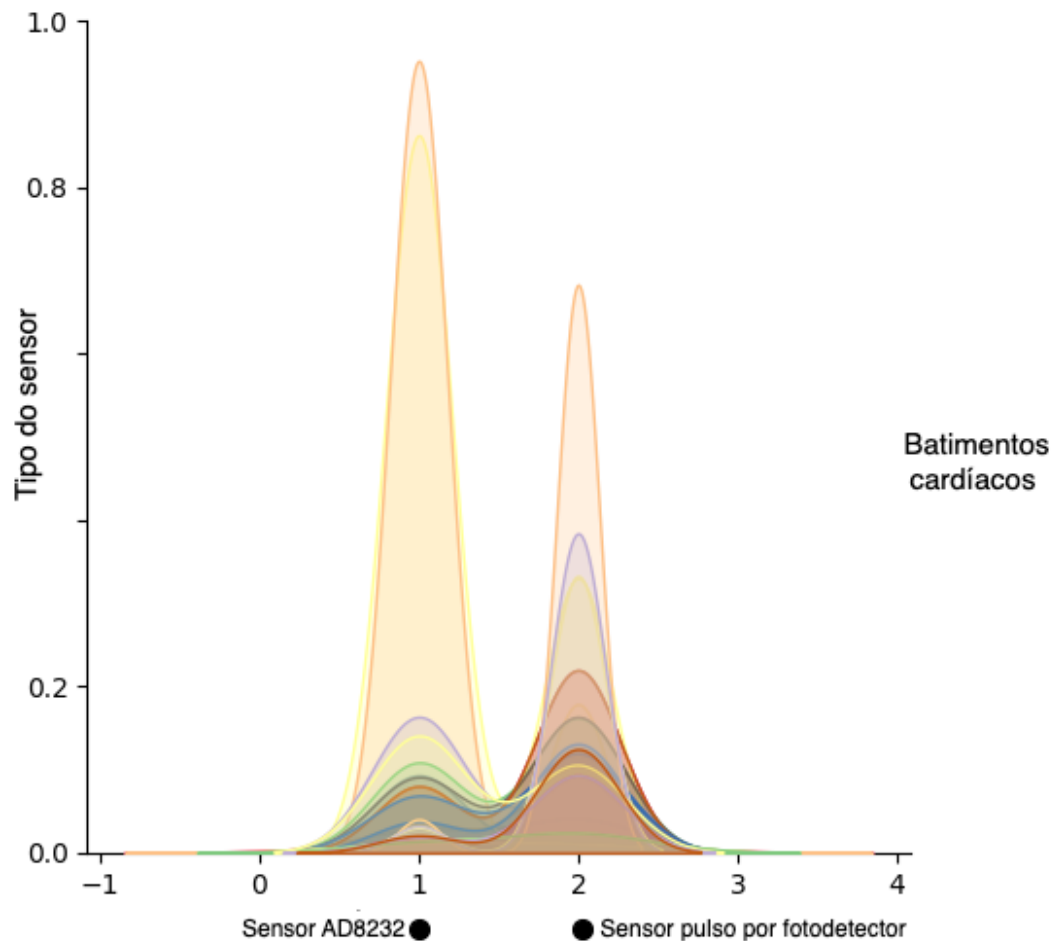
As mensagens de notificação recebidas no dia a dia do paciente são para mantê-lo atualizado quanto à sua saúde e a saúde do dispositivo, como: monitoramento da carga da bateria, do relógio e do coração artificial, ou quando há uma alteração repentina na rotina, como quando é percebida uma aceleração repentina.

4.2.3 Coleta de Dados

Os dados foram coletados por meio do dispositivo de monitoramento do projeto Mack-Pesquisa (coração artificial), conectado aos pacientes. A placa foi fixada na cintura dos pacientes por um cinto. O sensor AD8232 foi posicionado no peito, enquanto o sensor de pulso, equipado com fotodetector, foi fixado no dedo da mão esquerda. Os fios de conexão dos dois sensores foram estendidos com o uso de um cabo manga. O sensor AD8232 (1) foi definido como o principal para a coleta de informações, enquanto o sensor de pulso por fotodetector (2) foi configurado como redundante. Se o sensor 1 estivesse desconectado, as informações seriam coletadas pelo sensor 2. A Figura 25 demonstra que o volume de

dados coleta pelo sensor 1 foi maior que os coletados pelo sensor 2.

Figura 25: Volume de dado coletado por cada tipo de sensor.



Fonte: elaborado pelo autor.

O sensor acelerômetro não precisou ser posicionado em nenhuma parte específica do corpo para detectar movimentos, quedas e inclinações. A partir das alterações realizadas pelo paciente, o dispositivo de monitoramento se move automaticamente, levando o acelerômetro a perceber a mudança e coletar dados em função a força gravitacional do eixo em referência (X, Y ou Z).

A placa MX-E9, modelo DMCA124 na versão v1.1/2024, conecta dois sensores de batimentos cardíacos e um acelerômetro de três eixos. A base de análise é composta por dados de quatro pacientes, totalizando 472 registros. A Tabela 5 contém as informações dos paciente; já a Figura 26 apresenta a arquitetura usada para coletar dados por meio do dispositivo de monitoramento, placa MX-9E. Os dados são coletados via sensores,

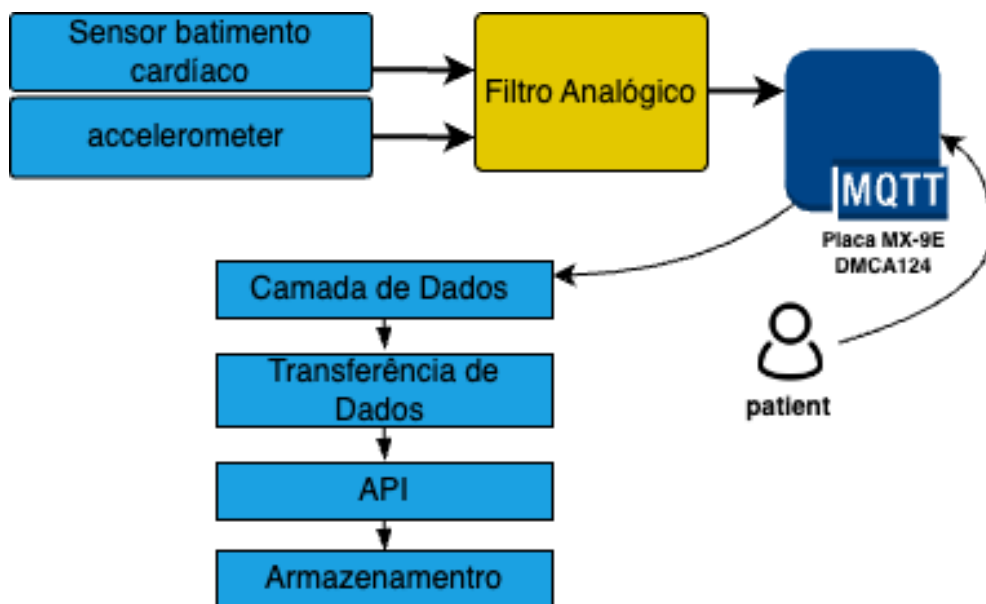
aplicando um filtro analógico usando a biblioteca *ResponsiveAnalogRead* para remover os ruídos. Por meio de uma rede móvel ou Wi-Fi, os dados são transferidos para um banco de dados.

Tabela 5: Informações dos pacientes.

paciente	idade	peso (kg)	altura	gênero	data de coleta
1	33	84	1.83	M	28/05/2024
2	34	55	1.72	F	29/05/2024
3	28	72	1.65	M	30/05/2024
4	31	68	1.62	M	01/06/2024

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 26: Arquitetura para coleta de dados.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela. 6 ilustra o modelo de dados coletados pelo dispositivo placa MX-E9, e consiste em:

1. Dados de batimentos cardíacos;
2. Dados de movimento que consiste em: eixos X, Y e Z do acelerômetro;
3. Um campo para a hora da coleta dos dados;

4. Registro da localização do paciente.

Tabela 6: Modelo de dados coletados.

bat. cardíacos	eixo X	eixo Y	eixo Z	hora da coleta
68	1	0	0	10:46.55
73	1	0	-1	10:47.5
70	2	0	3	10:47.15
77	1	0	4	10:47.25
76	1	0	5	10:46.55
81	1	0	8	10:46.35
85	2	0	7	10:46.45
88	1	0	9	10:46.55

Fonte: elaborado pelo autor.

A aplicação de filtros é fundamental, pós tem como função remover partes indesejadas do sinal, como ruídos, ou extrair partes proveitosas, como os elementos situados em uma faixa de frequência específica (DEVICES, 2019). O tratamento de ruídos pode ser realizado por meio de uma técnica que compreende os filtros analógico e digital.

O filtro analógico, conforme mencionado por (DEVICES, 2019), utiliza circuitos eletrônicos analógicos que compreendem componentes como resistores, capacitores e amplificadores operacionais para produzir o efeito de filtragem necessário. Os circuitos de filtro são amplamente utilizados para a redução de ruído. Existem diretrizes bem definidas para a criação de um circuito de filtro analógico para atender a uma determinada exigência. Em todos os estágios, o sinal que está sendo filtrado é uma tensão ou corrente elétrica, o equivalente direto à quantidade física.

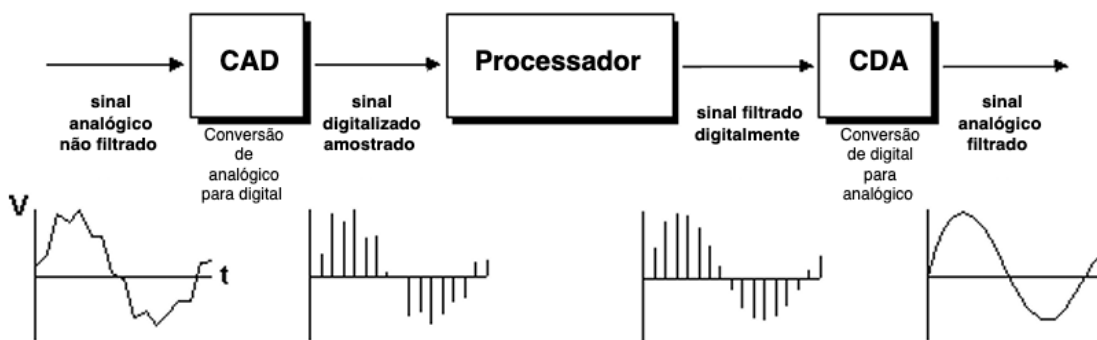
Já o filtro digital usa um processador digital para calcular valores amostrados do sinal. O processador pode ser um computador de uso geral, um computador comum, ou um chip de *Digital Signal Processor* (DSP) de alto desempenho (DEVICES, 2019).

O filtro analógico foi empregado no projeto para eliminar ruídos e assegurar maior confiabilidade nos dados. A biblioteca *ResponsiveAnalogRead* permite implementar o filtro analógico e digital. Os dados foram processados por meio de um filtro analógico,

tendo em vista que os dados dos sensores são lidos pelas portas analógicas (A0, A1 e A2) do módulo *Raspberry Pi Pico W*.

A Figura 27 apresenta um diagrama de configuração básica de um sistema de filtros. O sinal de entrada é convertido de analógico para digital (CAD) e, posteriormente, processado e filtrado para a remoção do ruído. Depois disso, o sinal digital é convertido em sinal analógico (CDA), resultando em um sinal analógico filtrado.

Figura 27: Diagrama de configuração de um sistema de filtros.



Fonte: traduzido pelo autor, (DEVICES, 2019).

Usar registros integrados do acelerômetro faz com que os dados adquiridos dos registros *data* compensem qualquer deslocamento. Em um esquema de calibração sem giro ou de ponto único, a peça é orientada de forma que um eixo, geralmente o eixo Z, esteja no campo de gravidade de 1 g - (aceleração devida à gravidade na superfície da Terra) e os outros eixos, X e Y, estejam em um campo de 0 g. A saída é então calculada pela média de uma série de amostras. Os valores são armazenados como X0g, Y0g e Z+1g para medições de 0 g nos eixos X e Y e 1 g no eixo Z. Os valores medidos para X0g e Y0g correspondem ao deslocamento dos eixos X e Y. A compensação é feita subtraindo os valores da saída do acelerômetro para obter a aceleração real. A média do número de amostras é uma escolha do projetista do sistema (DEVICES, 2023).

A detecção de atividade e inatividade indica a presença ou ausência de movimento e a aceleração em qualquer eixo que excede o valor definido pelo projetista do sistema, na faixa de medição ($\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ e $\pm 16g$) do sensor. Essas configurações foram feitas na calibração do sensor, usando o método *MAP*, onde o valor máximo de saída de cada eixo é de até 20.

A fim de identificar as alterações na rotina, foi estabelecido um intervalo para cada situação, conforme demonstrado na Tabela 7. A Tabela é composta por quatro colunas contendo informações dos eixos do acelerômetro e a situação considerada consoante os dados coletados em cada eixo e a combinação dos três eixos. A posição do paciente é determinada pela aceleração gravitacional do eixo posicionado para cima, ou seja, verifica-se em qual eixo do acelerômetro está a gravidade, o que indica a posição do indivíduo. Já detecção de movimentos é determinada pela identificação da força exercida pela verificação das variações repentinas entre os três eixos do sensor. Quanto maior a variância do eixo Z, maior a percepção de movimentos. Já quanto menor a variância exercida, menores os movimentos. Quanto maior a variância exercida pelo eixo X, maior a inclinação. Quanto maior a variância do eixo Y, maior a queda e quanto menor a variância, menor será a queda. Considerando que $X = 0$, $Y = 0$ e $Z \leq 0$ representam objetos em repouso, é possível identificar movimentos e inclinação ao mesmo tempo, quando $X \geq 1$ e $Z \geq 1$ representam objetos em movimento e inclinados, já as quantidades desses movimentos é percebido pelo quanto a cada eixo varia repentinamente em menor tempo possível.

Tabela 7: Análise dos eixos do sensor acelerômetro.

eixo X	eixo Y	eixo Z	situação do paciente
$X = 0$	$Y = 0$	$Z = 0$	em repouso
$X \geq 1$	$Y = 0$	$Z = 0$	inclinação para cima
$X \leq -1$	$Y \leq 0$	$Z = 0$	inclinação para baixa
$X = 0$	$Y \geq 1$	$Z = 0$	representa queda
$X = 0$	$Y = 0$	$Z \geq 1$	representa movimentos
$X \geq 1$	$Y = 0$	$Z \geq 1$	inclinação e movimentos

Fonte: elaborado pelo autor.

A definição dos parâmetros de calibração foi realizada a partir da comparação entre os dois sensores instalados no dispositivo de monitoramento placa MX-E9 e os dados de batimento cardíaco e movimento do relógio *Apple Watch Serie 8*. Este comparativo para a calibração dos sensores de batimentos cardíacos e do acelerômetro foi realizado em diferentes períodos, com duração média de até 30 minutos, totalizando quatro ciclos comparativos.

A calibração dos sensores permite garantir a precisão dos dados coletados e transmitidos. Os dados coletados podem conter ruídos que comprometem a confiabilidade e, posteriormente, a análise. A correção do ruído passa pela calibração/recalibração do sensor acelerômetro para aumentar o grau de precisão. A calibração não interfere nos dados, pelo contrário, fornece informações sobre a saída do sensor de uma forma estável e confiante.

A calibração do sensor acelerômetro foi realizada com base na força de referência estável aplicada em cada eixo. A gravidade foi usada como parâmetro para a calibração do sensor, a aceleração foi calculada em termos de força gravitacional (G), sendo 1G a atração gravitacional na superfície da terra, com variações de +1G para a força máxima e -1G para a força mínima exercida.

A configuração do método *MAP*, possibilitou mapear os dados. Dessa forma, foram definidos os intervalos entre valores mínimos e máximos para a entrada e saída dos dados, conforme demonstrado na Tabela 8, o que garantiu dados de saída compatíveis com a do relógio *Apple Watch Serie 8*, que serviu como base comparativa.

A Tabela 8 apresenta um comparativo entre os dados não calibrados e nem filtrados e a saída dos dados já calibrados e filtrados. Após a aplicação do filtro, a realização da calibração, o estudo comparativo com outros sensores como do relógio inteligente *Apple Watch serie 8*, os dados se tornam mais condizentes com a realidade.

Tabela 8: Dados de calibração do sensor acelerômetro ADXL345.

Dados de entrada não calibrados sem filtro			
	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
+	671	1019	219
-	456	356	120
Dados de saída já calibrados e filtrados			
	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
+	2	0	11
-	-1	0	0

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma análise comparativa mostrou a diferença nos dados de batimentos cardíacos coletados pelos diferentes sensores, incluindo dois protótipos (sensor AD8232 (1) e sensor de pulso cardíaco (2) com fotodetector) e um relógio inteligente *Apple Watch série 8*. Os dados foram coletados no mesmo período considerado em repouso. Enquanto o *Apple Watch série 8* mediu 70 bpm, os sensores da placa mediram 73 bpm no Sensor 1, que tem um medidor por eletrodos, e 69 bpm/min no Sensor 2, o sensor AD8232 se mostrou mais instável pelo fator da conexão ser por meio de eletrodos, o que causa maior ruído e instabilidade na coleta dos dados.

A confiabilidade dos dados se deve a um dispositivo (sensor) de qualidade e alta precisão do *software* de calibração. Essa configuração foi realizada usando o método *MAP*, com um intervalo de valores mínimos e máximos para entrada e saída. Os valores de detecção são: 500 valor mínimo e 951 valor máximo para entrada, e 45 valor mínimo para BPM e 220 valor máximo para BPM de saída. A proposta do projeto é trazer uma contribuição abordando aplicação de sensores na resolução de problemas de IC.

A Tabela 9 apresenta um comparativo entre os dados não calibrados e nem filtrados e a saída dos dados já calibrados e filtrados. Após e a aplicação do filtro a realização da calibração, os dados se tornam mais confiável e ficam condizentes com a realidade.

Tabela 9: Dados de calibração dos sensores de batimentos cardíacos.

Dados não calibrados sem filtro		
	Sensor AD8232	Sensor de pulso fotodetector
+	951 bpm/min	500 bpm/min
-	550 bpm/min	90 bpm/min
Dados calibrados e filtrados		
	Sensor AD8232	Sensor de pulso fotodetector
+	73 bpm/min	67 bpm/min
-	64 bpm/min	56 bpm/min

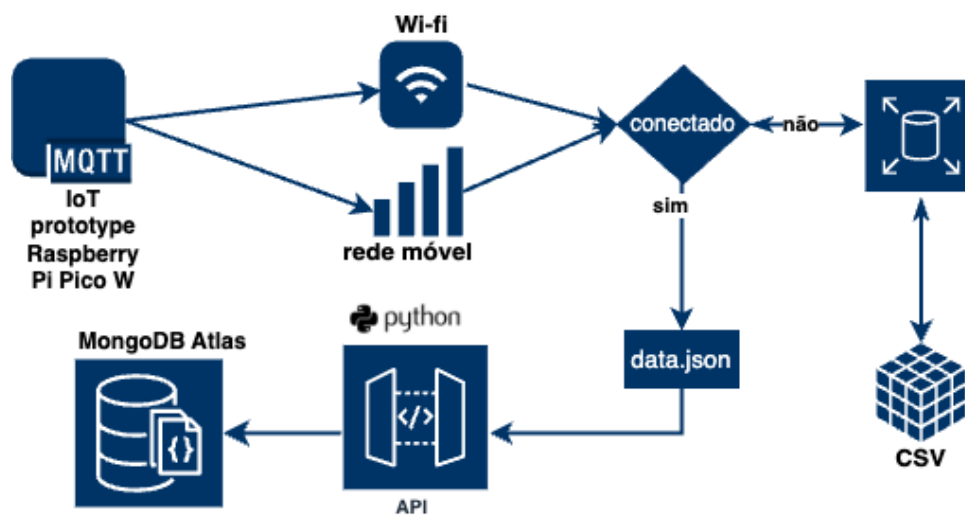
Fonte: elaborado pelo autor.

Em diversos casos, o registro de dados por meio de um microcontrolador é indispensável para projetos e desenvolvimentos. Esse projeto implementou um sistema de *Data Logger* que salva os dados na memória interna do módulo e, posteriormente, os

envia para a aplicação que os guarda no banco de dados. O modelo *Raspberry Pi Pico W* possui 2 MB de memória *Flash* para armazenar códigos e outros registros. Dessa forma, é possível criar um arquivo CSV com precisão, para que os dados gerados pelos sensores sejam anexados simultaneamente. Assim, todos os dados são mantidos e podem ser transferidos para a API quando necessário.

A Figura 28 apresenta a arquitetura utilizada para a criação do arquivo de registro de dados. Se o módulo perceber uma desconexão, salva os dados na memória interna no arquivo *datalog.csv* até que a conexão à *internet* seja restabelecida. Após a restauração da conexão, os dados são enviados para API que os salva no banco, e o arquivo *datalog.csv* é excluído.

Figura 28: Arquitetura aplicada para salvar dados de registro.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 29 ilustra o conceito lógico empregado para o envio de dados na API ou salvá-los no *Data Logger*. A lógica é simples: consiste em três etapas: 1) — validar a conexão da rede móvel. Se a rede estiver conectada, os dados serão enviados para API; 2) — validar a conexão com Wi-Fi. Se a rede móvel estiver desconectada, os dados serão transmitidos por Wi-Fi; 3) — se não houver conexão com nenhuma das redes, é chamado o método *WRITE DATA LOGGER*, que salva os dados no arquivo *datalog.csv*.

Antes do método *WRITE DATA LOGGER* salvar os dados no arquivo *datalog.csv*, é verificado chamando o método *fileExists*. Se já existir o arquivo, os registros são salvos no mesmo arquivo. Se não, um novo arquivo com o mesmo nome é criado pelo método

CREATE FILE DATALOG. Após a conexão ser restabelecida, o método *READ DATA LOGGER* envia os dados para API que os salva no banco e o arquivo *datalog.csv* é removido, liberando assim a memória no módulo *Raspberry Pi Pico W*.

Essa solução garante que os dados não sejam perdidos, mesmo que ocorra um problema de conexão com as redes. Porém, o módulo *Raspberry Pi Pico W* possui uma capacidade limitada de armazenamento interno de apenas 2 MB na memória *Flash*. Essa limitação computacional limita o volume de informações a serem registradas no *Data Logger*. Uma possível solução para essa limitação seria o uso de um módulo cartão micro *Secure Digital* (SD), o que aumentaria consideravelmente a capacidade de armazenamento do sistema de monitoramento. Contudo, os testes realizados no projeto não mostraram a necessidade de adicionar tal componente.

Figura 29: Métodos e lógica de envio e de registo de dados.

```
projeto_iot_ca.ino
351  if ((currentTime - previousTime) > timeoutTime) {
352      if (network.getSimStatus() == 1 && signal > 0){
353          // enviar dados na API vis rede móvel
354          SEND_DATA_TO_API(data);
355      }
356      else if ((WiFi.status() == WL_CONNECTED)) {
357          // enviar dados na API vis rede WIFI
358          SEND_DATA_TO_API(data);
359      }
360      else{
361          // metdo para salvar dos dados de registros
362          WRITE_DATA_LOGGER(HEART_BEAT_SENSOR_MAP, HEART_BEAT_SENSOR_TYPE, intX_G, Y_G, Z_G);
363      }
364      previousTime = millis();
365  }
366  delay(_LONG);
367 }
368 void WRITE_DATA_LOGGER(int HEART_BEAT_SENSOR_MAP, int HEART_BEAT_SENSOR_TYPE, int X_G, int Y_G, int Z_G){
369     // Método para verificar e deletar o arquivo se ele existir
370     if (fileExists("/datalog.csv")) {
371         Serial.println("O arquivo datalog.csv já existe");
372     } else {
373         Serial.println("O arquivo datalog.csv não existe.");
374         CREATE_FILE_DATALOG();
375     }
376     // Abrir o arquivo novamente para adicionar dados
377     File file = LittleFS.open("/datalog.csv", FILE_APPEND);
378     if (!file) {
379         Serial.println("Erro ao abrir o arquivo datalog.csv");
380         return;
381     }
382     // Escrever os dados no arquivo
383     file.print(HEART_BEAT_SENSOR_MAP); file.print(",");
384     file.print(HEART_BEAT_SENSOR_TYPE); file.print(",");
385     file.println(X_G); file.print(",");
386     file.println(Y_G); file.print(",");
387     file.println(Z_G); file.print(",");
388     file.println(GET_DATE()); file.print(",");
389     file.println(GET_TIME()); file.close();
390     Serial.println("Dados gravados.");
391     delay(2000);
392 }
```

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.4 Segurança de Dados

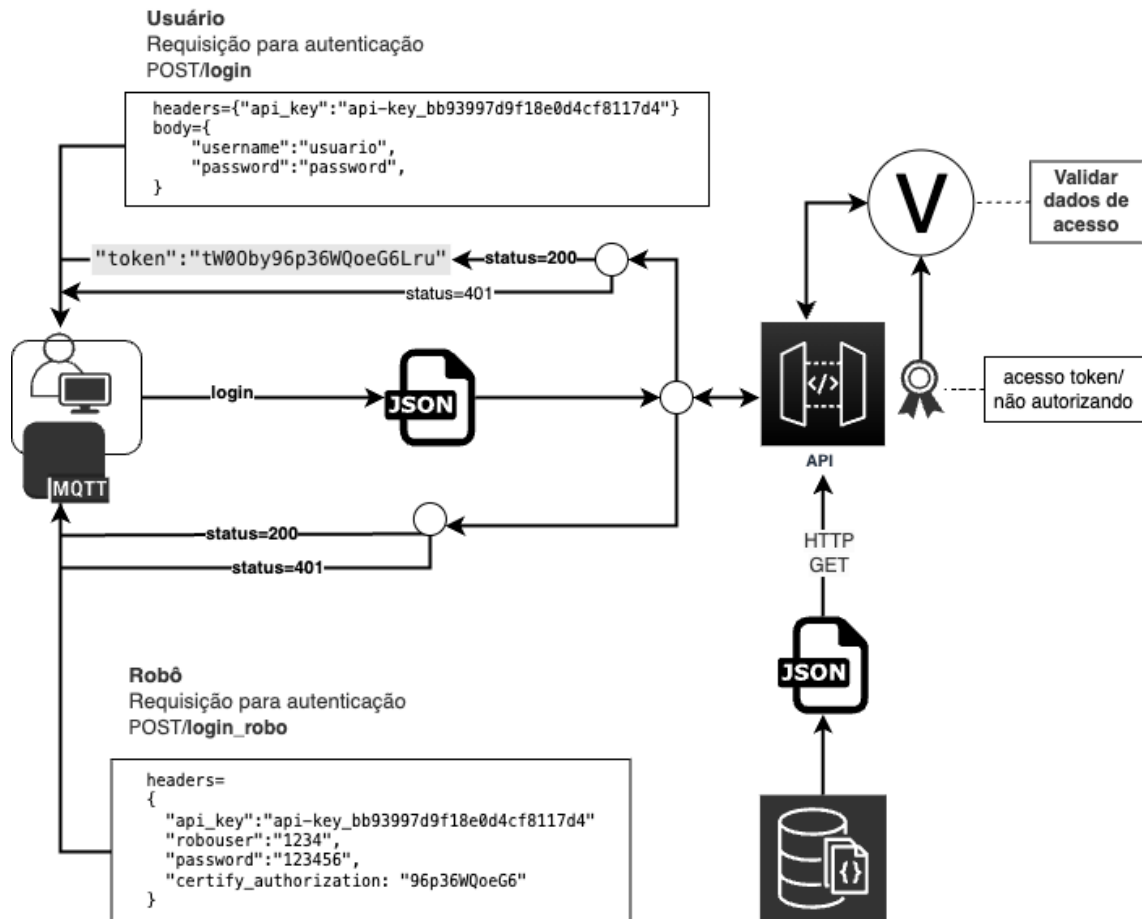
A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), segundo (TEMER et al., 2018), é responsável pelo tratamento dos dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou jurídica de direito público, ou privado, para proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural.

A fim de assegurar a proteção dos dados dos pacientes, a pesquisa evidencia a importância dessas camadas:

1. A camada de proteção visa restringir o acesso ao banco de dados da nuvem, configurando os endereços IPs. Somente endereços IPs com permissão podem acessar os dados;
2. A camada permite a configuração dos *endpoints* da aplicação, criando uma *api key* para cada *endpoint*. Para cada requisição, é preciso informar a *api key* do *endpoint* a ser consultado;
3. A camada configura o *access token* de cada usuário. O usuário insere os dados de acesso válidos (usuário e senha). Dessa forma, cria-se um *token* de acesso com validade de 2 horas, aumentando consideravelmente a segurança;
4. A camada configura o usuário robô. Ao cadastrar os dados do paciente, é necessário informar os dados do dispositivo de monitoramento, modelo da placa, versão e ano de fabricação. Para cada dispositivo, é criado um usuário e uma senha numérica, denominado usuário robô. Ao enviar os dados para a API, é informado o número do robô e a senha para autenticação;
5. A camada cria um certificado de autorização quando cadastradas as informações da placa do paciente. Esse *token* é composto por 8 *bits* e informa a API que a requisição tem permissão para consultar ou alterar o banco;
6. A camada é dedicada à criptografia dos dados. Todos os dados são criptografados para aumentar a segurança e a proteção. Uma chave secreta de 32 caracteres serve como certificado de proteção e, dessa forma, os dados dos pacientes ficam seguros e bem protegidos.

A Figura 30 ilustra as camadas de proteção dos dados.

Figura 30: Arquitetura de segurança de dados.



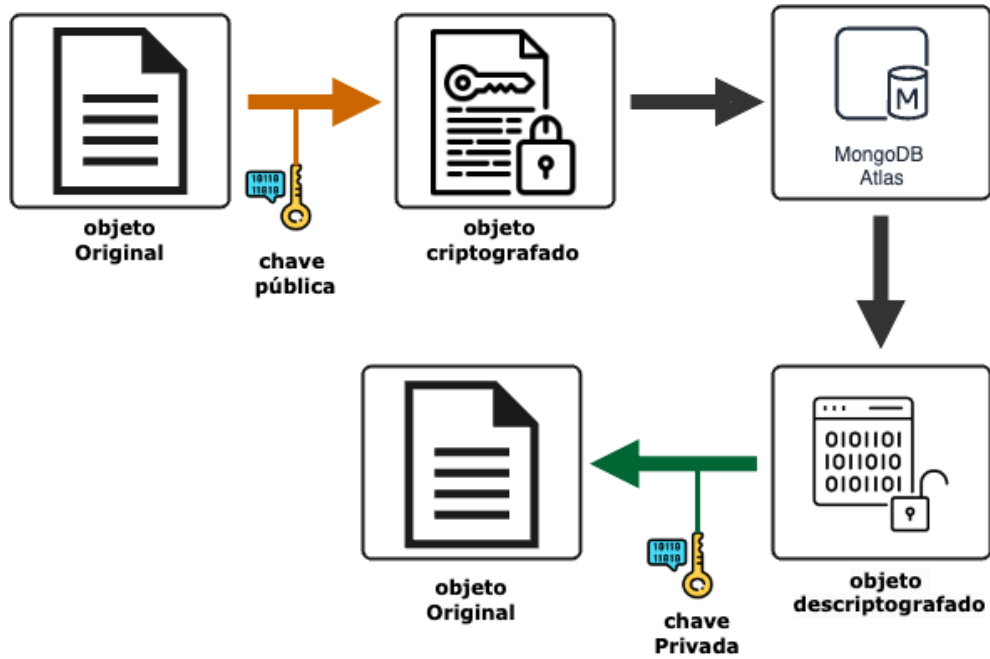
Fonte: elaborado pelo autor.

Criptografia e Descritografia de Dados: é uma camada que protege, ou um processo que converte dados legíveis em dados ilegíveis, codificando-os e usando algoritmos de criptografia a fim de proteger os dados de qualquer uso indevido dos meios digitais. Uma chave pública e outra privada limitam o uso dos dados, permitindo consultas que informem a chave pública utilizada no processo de criptografia. A descritografia é o oposto da criptografia, que consiste em desproteger os dados protegidos para permitir o consumo dos dados de maneira legível (ASHCRAFT et al., 2024).

A Figura 31 demonstra a arquitetura utilizada para a criptografia e descritografia dos dados, enquanto a Figura 32 mostra os dados criptografados e armazenados no banco de dados.

Conforme demonstrado na Figura 32, os dados estão armazenados de forma cripto-

Figura 31: Arquitetura de criptografia e descryptografia de dados.



Fonte: elaborado pelo autor.

grafada em cada posição da lista *body*. O projeto aplica um algoritmo de criptografia utilizando a biblioteca *cryptography.fernet*, que contém uma função *generate key* que gera um *token* de 32 caracteres.

Com essa camada, a integridade e a confiabilidade dos dados são assegurados, impedindo qualquer solicitação de acesso indevido.

Figura 32: Armazenamento dos dados criptografados.

```

_id: ObjectId('664652fd57468702a819ad7f')
identificador: 2305392
body: Array (11)
  0: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5RnN6OS1ES1J6eHITGwOVNkOFhzSXMyM0VYdFhpdVixVl9sdXBqaGpsYVRIMTLHS1BycE9ZVDJBY1JsrLp0...', 0)
  1: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5N3d1FyQ25yM2xvT1zeGtHMi1SYW1BTkxKM1BuRgcZCHB1W0VnMw5yTWm2R0RLbHlySD1B2WkoZLNGUuTr...', 0)
  2: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5WDd6dUpmOVRVnM5nWUZkajRjX3d30G9rTVJTN3NCMENzVnhIdlQ0NFhrSHZfQXo1QmFRBwP6cVU1S2VvVhVVK...', 0)
  3: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5RTVXbXRnVW1BTDZQc1QXNLRVRUSxZzdVdjcrczZXROJ1aLEyeDZnaWtTV3VnekxQM3dNRW51c0hLcHp1dw1N...', 0)
  4: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5dHbd1EwUmIeUUR4Y3R1MULxZkRHSTdNT3pXanpmMjNndDNMRk9NamRKSg1Da3AtSEQ2V0JzSV95MFFGQnZW...', 0)
  5: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5cEtQzU0M3BLdXVCy3V1RUVhbHJQazVkmXZnZhpangzbVE5cEVtMmLSOUp2MnNqbk1TT19pQVNTt0taUxx...', 0)
  6: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5N3Vcenc5R2Rpc29pcW1tR0VpTW1fa2tCOEFKtGnV1BuOWVaQVks5UEJJaYlYXRNTMwxsbsU1UkowRjdrRXJw...', 0)
  7: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5S3ZydeEpbUyUzLjV1R5RtVUx3hEMFJfZXdzbu5SadZMMDnrR25HSGpVS0hTTUswQ2Z2ndnHRULZVS2JCeXVT...', 0)
  8: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5eWxzSTZwY2owMWZmaLpmRXNwWxubEhEcnBNOXZIM093YW93dWstTgktdZRp3hmdy0xbUHTWUtrM3ZkWTva...', 0)
  9: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5YzZkZT11SGxM0m51T311aLRaWHRoSGZTc0HLXVYY1dZdTM2ZWNCszVBY3LHM3hib3dIR0RURV14SmJxemJC...', 0)
  10: Binary.createFromBase64('Z0FBQUFBQm1SbEw5YmtDdBLZkptcFLlCkY2VElOTjFlNHlXQzZXM25CWGFnZc2MkckUHBTRXJzMWwvVUJ0M1k55m81N24wb1J3E...', 0)
dateCreate: 2024-05-16T15:39:57.673+00:00

```

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.5 Visualização e Análise de Dados

O estudo dos dados, por via da análise, possibilita a compressão da rotina dos pacientes, além de obter um índice por meio do monitoramento dos sinais vitais coletados utilizando dispositivo de monitoramento embutido no coração artificial. Para isso, a pesquisa usa um *Notebook* na plataforma de ciência e análise de dados *Jupyter Lab*. A Figura 33 mostra a visualização dos dados no *Notebook* obtido via requisição na API. O *dataset* é composto por: ID de cada objeto de dado armazenado no banco, identificação da placa que coletou os dados, número do paciente, dados de batimentos cardíacos, tipo de sensor utilizado (sensor de pulso por eletrodo (1) ou sensor de pulso por fotodetector (2) e dados do sensor acelerômetro, contendo eixos X, Y e Z, data e hora da coleta dos dados, variáveis contendo o dia e o mês, variáveis contendo o tempo de coleta, variáveis contendo a hora e os minutos de coleta dos dados.

Figura 33: Modelo de visualização de dados do *jupyter notebook*.

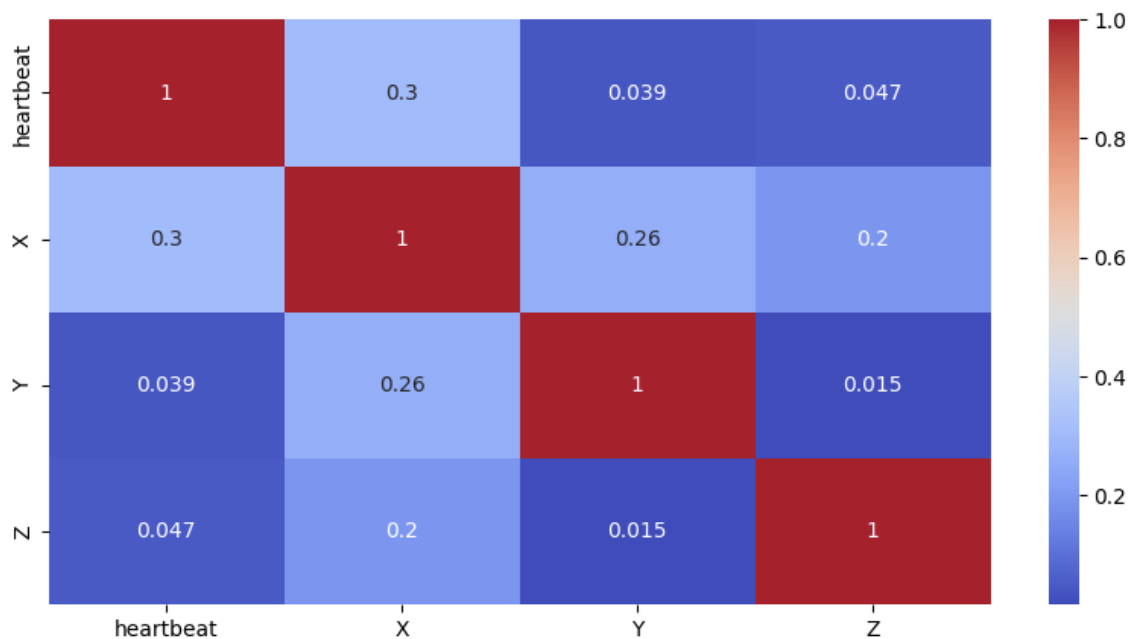
	_id	identifier	patient	heartBeat	heartBeatSensorType	X	Y	Z	datecollect	daycollect	mothcollect	timecollect	hourcollect	minutecollect	
0	665608cf770077821ce418de	9752100	2	86		2	5	0	7	28/5	28	5	13:22	13	22
1	665b2ae63c2ea64b6e3dfbe2	374256	4	80		2	-1	0	-1	1/6	1	6	10:0	10	0
2	6667356dac313c8d8f80e014	5310408	5	103		1	5	-1	7	10/6	10	6	11:4	11	4
3	66577b9fe25f6709db53a5c8	3529229	1	98		2	5	0	8	29/5	29	5	11:37	11	37
4	665b5db08e1dc38902c0b64d	374256	4	77		2	1	0	0	1/6	1	6	10:9	10	9
5	665b5db08e1dc38902c0b64d	374256	4	77		2	1	0	0	1/6	1	6	10:9	10	9
6	66586d4ce25f6709db53a5f5	3529229	1	103		1	7	1	6	29/5	29	5	16:5	16	5
7	665b2ae63c2ea64b6e3dfbe2	374256	4	80		2	-1	0	-1	1/6	1	6	10:0	10	0
8	66586d4ce25f6709db53a5ef	3529229	1	70		1	1	0	6	29/5	29	5	16:3	16	3
9	6655fea8f04a2647ab784b57	9752100	2	119		2	0	0	14	28/5	28	5	11:24	11	24

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 34 apresenta um gráfico de correlação dos dados do acelerômetro, consoante à força e inclinação exercidas por cada eixo. O sensor mede até ± 16 g de força aplicada ao objeto. O cenário ilustra valores simultâneos de três variáveis correlacionadas. É possível notar que quando $X = 1$, Y exerce uma força de 0,26 g e Z detecta um valor de 0,2. Isso indica uma rotação do eixo X para cima, ou seja, o objeto está inclinado e os valores informados pelo sensor serão: $X = 1$, $Y = 0$ e $Z = 0$.

A Figura 35 demonstra que, quando os movimentos aumentam, a frequência cardíaca aumenta. Ou seja, movimentos são fatores relevantes nas alterações das rotinas dos pacientes. O gráfico apresenta um aumento nos movimentos, chegando a 16 movimentos/min, e na frequência cardíaca, chegando a 141 bpm, além disso, é perceptível que há dois blocos

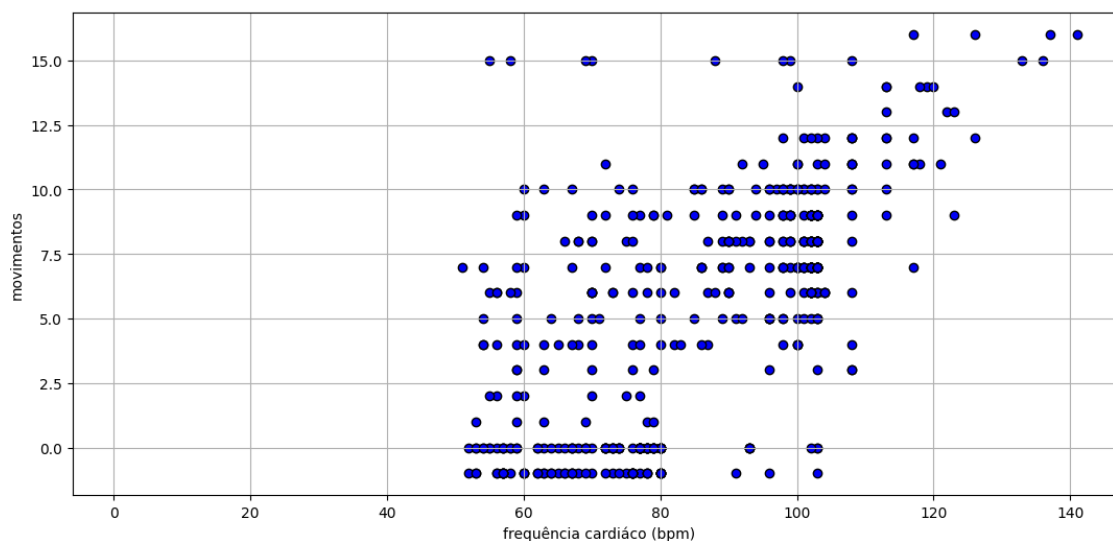
Figura 34: Matriz de correlação do conjunto de dados de monitoramento.



Fonte: elaborado pelo autor.

de concentração de dados. O primeiro bloco apresenta frequência cardíaca entre 50 e 80 bpm, com zero movimento, e significa que os dados deste bloco foram coletados durante o repouso ($X=0$; $Y=0$; $Z \leq 0$), deitado, sentado ou em pé; o segundo bloco apresenta movimentos que variam de 5,0 a 12,5, e a frequência cardíaca entre 85 a 103 bpm.

Figura 35: Distribuição do ritmo cardíaco em função dos movimentos.



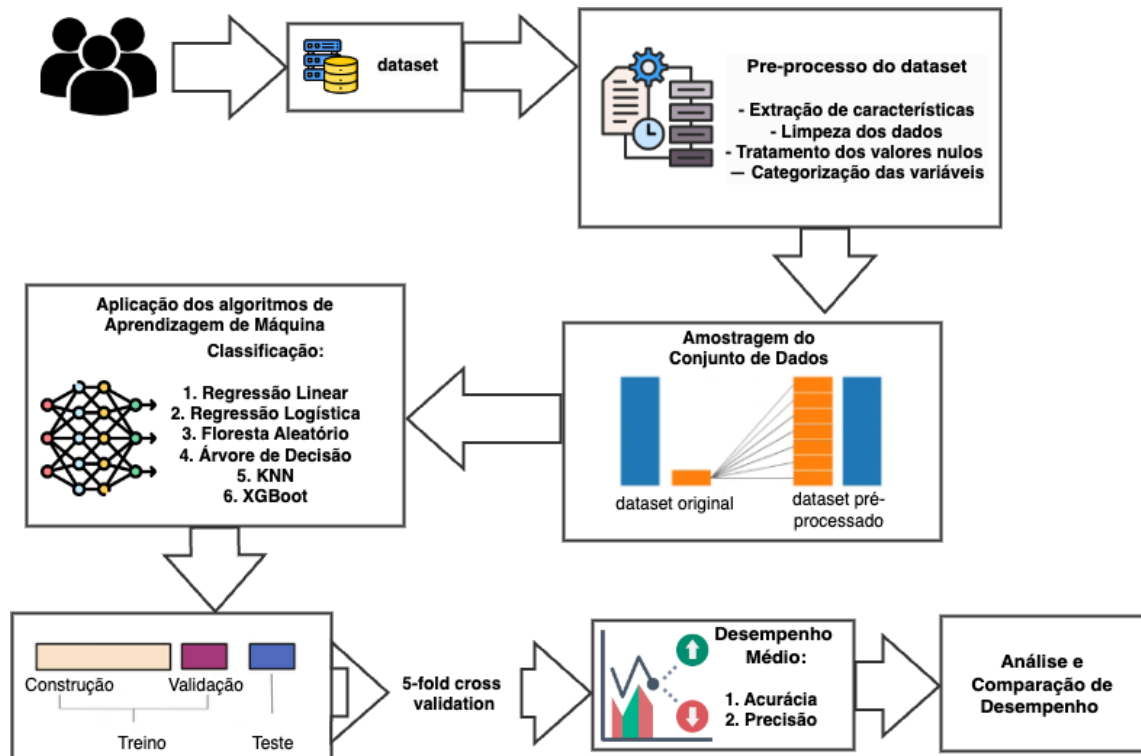
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.6 Modelo de Inteligência Artificial

A seleção de um método de validação adequado para um conjunto de dados é crucial para um desempenho satisfatório. Para isso, optou-se pelo método de validação cruzada *K-fold*.

A validação cruzada *K-fold* é um método importante para obter resultados satisfatórios em um conjunto de dados reduzidos (MAMUN A. FARJANA; RAHMAN, 2022). Para a aplicação do modelo, utilizou-se $K=5$, sendo que K é o número de *loop* necessários para validação. Após validar os modelos por cinco vezes, foram obtidas as pontuações médias, acurácia e precisão de cada classificador de *Machine Learning* (ML). A Figura 36 apresenta o panorama da arquitetura utilizada para treinar modelos. A arquitetura é composta por sete etapas: a primeira é a coleta e a elaboração do *dataset*. A segunda é o pré-processamento do *dataset*, que compreende a extração de características, a limpeza dos dados, o tratamento de valores nulos e a categorização de variáveis; a terceira etapa é a modelagem do conjunto de dados, ou seja, é o processo de criar representações visuais estruturadas dos dados do *dataset*, permitindo a compreensão; a quarta é a aplicação dos algoritmos, modelos e técnicas de ML; a quinta fase é o treinamento dos modelos, separando os dados de treino, teste e validação; a sexta fase é a análise dos resultados médios dos modelos e a sétima apresenta a análise comparativa de cada modelo em treinado.

Figura 36: Arquitetura de análise e treinamento dos dados.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 10 apresenta os resultados das classificações baseadas em modelos. É composta por três colunas: a primeira nomeia os modelos treinados; já a segunda e a terceira, em porcentagem, apresentam, respectivamente, acurácia e precisão.

A partir da análise da Tabela 10, constata-se que a Regressão Linear obteve acurácia de 100% e precisão de 23,62%; a Floresta Aleatória teve acurácia de 100% e precisão de 23,47%, sendo a maior pontuação. Por outro lado, Regressão Logística com 46,00% de acurácia e 26,99% de precisão; já a Árvore de Decisão com 68,00% de acurácia e 24,48% de precisão — ambas de menor pontuação. Há ainda os modelos *XGBoost*, Regressão Linear e Floresta Aleatória que obtiveram excelente desempenho: acurácia de 87,60%, 82,41%, 78,90% e precisão de 87,61%, 80% e 79,00% e 82,40%.

Tabela 10: Análise de desempenho do modelo de previsão de insuficiência cardíaca

Modelo de aprendizado de máquina	Acurácia (%)	Precisão (%)
Regressão Linear	100	23,62
Regressão Logística	46,00	26,99
Floresta Aleatória	100	23,47
Árvore de Decisão	68,00	24,48
KNN	93,00	23,43
XGBoot	99,73	23,38

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados do treinamento dos modelos de ML mostraram que, com um histórico de dados dos pacientes, é possível alcançar índices significativos ao analisar e explorar o *dataset*, compreendendo, dessa forma, os padrões de comportamento dos pacientes. Isso possibilita verificar mudanças nas rotinas, que podem afetar e comprometer a melhora do quadro clínico dos pacientes, aplicando, dessa forma, o conceito de suporte remoto à supervisão e diagnóstico, dando aos médicos a oportunidade de acompanhar o quadro clínico dos pacientes sem a necessidade de agendas contantes.

5 CONCLUSÃO

A execução deste trabalho permitiu uma real e rica experiência de integração entre as áreas de computação e Saúde 4.0, apesar da complexidade apresentada ao considerar um modelo real como um estudo de caso. A presente pesquisa propôs o desenvolvimento de um protótipo, dispositivo MX-E9 v1.1/2024, utilizando sensores IoT para a coleta, transmissão via rede móvel, armazenamento, processamento e análise dos dados aplicando os conceitos e técnicas de *Data Science* e *Data Analytics*, visando ao monitoramento da saúde e rotina dos pacientes com IC.

Dessa forma, foi possível constatar que os objetivos estabelecidos nesta pesquisa foram atingidos com êxito. Um protótipo, placa MX-E9 v1.1/2024 foi desenvolvido com sensores IoT incorporados para coletar e transmitir os dados. Além disso, a proteção dos dados foi assegurada por meio da implementação de cinco camadas de proteção e segurança. A calibração dos sensores, foi feita com base no estudo comparativo de quatro componentes, sendo: sensor AD232, sensor de pulso por fotodetector, sensor acelerômetro e *Apple Watch Serie 8*, garantiu a confiabilidade das informações coletadas pelo protótipo. Esses dados foram armazenados no banco de dados da nuvem *MongoDB Atlas*, a fim de criar um histórico dos pacientes, o que permitiu o estudo e análise dos dados, aplicando o conceito de suporte remoto à supervisão para a compreensão da rotina, desempenhando um papel crucial no diagnóstico e na análise clínica dos pacientes.

A análise e a aplicação dos modelos de ML mostraram resultados promissores na previsão da probabilidade de que os dados possam fornecer aos médicos informações sobre a saúde dos pacientes. Esses resultados foram demonstrados por gráficos, tabelas e análises comparativas. Os dados coletados do sensor acelerômetro aumentaram o ritmo cardíaco, o que pode permitir a aceleração do rotor da bomba do coração artificial K-PUMP®. Essa abordagem possibilita progressos significativos na área da saúde, fornecendo uma base sólida para diagnósticos precisos. Já o serviço de notificação prestou assistência tanto aos médicos quanto aos familiares dos pacientes, pois, em caso de emergência, foram notificados. As notificações diárias manterão o paciente informado quanto à sua saúde e à saúde do dispositivo.

Em trabalhos futuros, serão coletadas grandes quantidades de dados de mais pacientes,

com diferentes idades, pesos, gêneros e condições clínicas, visando criar um *dataset* mais robusto e com um histórico mais detalhado de ocorrências. Isso permitirá uma avaliação mais aprofundada das rotinas dos pacientes, permitindo a compreensão dos padrões de comportamento e a detecção de alterações que possam afetar ou prejudicar a melhoria do estado clínico, por meio da utilização de modelos de ML e, análise exploratório dos dados.

Além disso, no dispositivo de monitoramento placa MX-E9, será introduzido o sensor de frequência cardíaca oxímetro MAX30100, criando assim, placa MX-E9 na versão 1.2, o que permitirá uma análise mais aprofundada dos dados de frequência cardíaca. A fim de aumentar a precisão e confiabilidade dos dados coletados nos sensores de frequência cardíaca, será utilizado um medidor de precisão arterial para a recalibração dos sensores, juntamente com os três sensores instalados na placa e o relógio inteligente *Apple Watch Serie 8*.

Em termos de segurança, será implementado um serviço de emergência na placa MX-E9 v1.2 para a detecção de ocorrências urgentes, permitindo que seja informado aos serviços de emergência sobre a ocorrência, mesmo que o paciente não esteja na área de cobertura da operadora móvel em uso. Esse serviço, será configurado por meio da utilização do módulo SIM800L, que permite realizar chamadas telefônicas, garantindo assim uma comunicação eficaz em situações críticas.

A presente pesquisa é um exemplo notável de convergência entre a tecnologia e a medicina, o que pode ter um impacto significativo na assistência medica moderna. Esse envolvimento foi possível por meio do MackGraphe, em parceria e colaboração de pesquisa com a FEMPAR, EE e FCI, o que, além de outros benefícios, permitiu a criação de um ambiente de estudo de caso e levemente de requisitos para o protótipo, orientação especializada e, sobretudo, laboratórios para testes.

5.1 ARTIGO PUBLICADO

MUXITO, E.; AKAMINE, C. Monitoring the Health of Heart Failure Patients Using an Artificial Heart. 4. Interdisciplinary Conference on Electrics and Computer (INTCEC 2024). p.1-6. Jun. 2024, Illinois University, Chicago, USA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, A. As 10 principais técnicas de mineração de dados. 2022. Disponível em: <<https://www.astera.com/pt/type/blog/top-10-data-mining-techniques/>>. Acesso em: 01 de nov. 2022.
- AMO, D.; SANDRA. Técnicas de mineração de dados. *Jornada de Atualização em Informatica*, p. 26, 2004.
- ANALOG, D. Three-axis, $\pm 2/4/8/16g$ digital accelerometer adxl345. *Analog Devices, Inc*, oct 2008. Disponível em: <www.analog.com>. Acesso em: 22 de Ago. 2023.
- ANALOG, D. Single-lead, heart rate monitor front end ad8232. *Analog Devices, Inc*, oct 2013. Disponível em: <www.analog.com>. Acesso em: 25 de ago. 2023.
- ANATEL. Tecnologia 5g. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>>. Acesso em: 20 de set. 2022.
- ANTUNES, F. D. S. Geotecnologias e cartografia histórica no auxílio a análise da organização espacial da área gênese de petrópolis - rj. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 2017.
- ASHCRAFT, A. et al. Criptografia e descryptografia de dados. *Microsoft Learn*, jan 2024. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/windows/win32/seccrypto/data-encryption-and-decryption>>. Acesso em: 10 de Jun. 2024.
- ASHTON, K. et al. That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, Hauppauge, New York, v. 22, n. 7, p. 1, 2009.
- ATLAS, M. What is mongodb atlas? *MongoDB, Inc*, 2023. Disponível em: <<https://www.mongodb.com/docs/atlas/>>. Acesso em: 21 de ago. 2023.
- BORGES, A. M. Uma arquitetura para internet das coisas para análise da concentração de monóxido de carbono na grande são paulo por meio de técnica de big data. Dissertação - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.
- BRIGHAM. Fda-approved heartmate 3 pump provides new option for advanced heart failure patients. *brigham and women’s hospital*, oct 2018. Disponível em:

<<https://www.brighamhealthonamission.org/2018/11/29/novel-cardiac-pump-improves-long-term-outcomes-advanced-heart-failure-patients/>>. Acesso em: 27 de nov. 2023.

BRIGHAM. Leviticus cardio successfully completes its third chronic animal study. *biospectrum asia*, sep 2018. Disponível em: <<https://www.biospectrumasia.com/news/27-11668/leviticus-cardio-successfully-completes-its-third-chronic-animal-study-.html>>. Acesso em: 27 de nov. 2023.

CARDOSO, G. Inteligência artificial aplicada a sistemas supervisórios de automação residencial com internet das coisas. Artigo - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2021.

CESTARI, V. R. F.; GARCES, T. S. et al. Distribuição espacial de mortalidade por insuficiência cardíaca no brasil, 1996-2017. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 2022. Disponível em: <<https://abccardiol.org/article/distribuicao-espacial-de-mortalidade-por-insuficiencia-cardiaca-no-brasil-1996-2017/>>. Acesso em: 12 de nov. 2023.

CHAUHAN, A. A review on various aspects of mongodb databases. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, v. 8, n. 05, p. 90–92, 2019.

CROCKFORD, D. Introducing json. *json.org*, 2019. Disponível em: <<https://www.json.org/json-en.html>>. Acesso em: 30 de set. 2023.

DEMCHENKO, Y.; LAAT, C. de; MEMBREY, P. Defining architecture components of the big data ecosystem. In: *2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 104–112.

DEVICES, A. Introduction to digital filters. aug 2019.

DEVICES, A. Data sheet adxl345 - 3-axis, ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g/ ± 16 g digital accelerometer. n. 31,32, p. 1–36, 2023. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/OkO6l>>. Acesso em: 12 de Jun. 2024.

ESTE, W. R. *internet das coisas: Tecnologia habitacional e Workflow*. p. 10. São Paulo: Dissertação - Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019.

GARCIA, L. G. U. Redes 802.11 (camada de enlace). *Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ*, aug 2022. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/01_2/802-mac/>. Acesso em: 18 de Ago. 2024.

HAJOU, O. et al. A comparative analysis of different approaches for big data interoperability. In: IEEE. *2016 Third International Conference on Systems of Collaboration (SysCo)*. [S.l.], 2016. p. 1–4.

HUANG, Z.; JIANG, Y. et al. Insuficiência cardíaca com fração de ejeção ventricular esquerda supranormal - estado da arte. *National Library fo Medicine*, may 2023. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8121464/>>. Acesso em: 26 de nov. 2023.

IBRAHIM, D. *Microcontroller based applied digital control*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006. 7 - 9 p.

IEEE. Top programming languages 2022 python's still no. 1, but employers love to see sql skills. *IEEE Spectrum*, aug 2022.

JENA, S. Architecture of internet of things (iot). p. 1, 2020. Disponível em: <<https://www.geeksforgeeks.org/architecture-of-internet-of-things-iot/>>. Acesso em: 2 de out. 2022.

KUBRUSLY et al. Dispositivo de assistência circulatória mecânica intraventricular de fluxo axial: estudo in vitro. *revista brasileira de cirurgia cardiovascular*. v.15, n. 2, p. 169–172, oct 200.

LYRA, A. Sensor de movimento de cabeça – itg3205 + adxl345 + hmc5883l. mar 2022. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-movimento-cabeca/>>. Acesso em: 09 de Ago. 2023.

MAMUN A. FARJANA, M. A. M. M. S. A. M.; RAHMAN, M. M. Heart failure survival prediction using machine learning algorithm: am i safe from heart failure? *IEEE World AI IoT Congress (AIIoT), Seattle, WA, USA,doi: 10.1109/AIIoT54504.2022.9817303*, p. 194–200, jul 2022.

MAXIM. Ds1307 64 x 8, serial, i2c real-time clock. *Maxim Integrated Products*, p. 1,6,7,8,10, 2017.

MEARIAN, L. By 2020, there will be 5,200 gb of data for every person on earth. *computerworld*, 2012. Disponível em: <<https://www.computerworld.com/article/2493701/by-2020-there-will-be-5-200-gb-of-data-for-every-person-on-earth.html>>. Acesso em: 30 de out. 2022.

MESQUITA, E. T. et al. Entendendo a hospitalização em pacientes com insuficiência cardíaca. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, SciELO Brasil, v. 30, p. 81–90, 2017.

MICROSOFT. O que é iaas? 2022. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-iaas/overview>>. Acesso em: 10 de out. 2022.

MS. Pessoas esperando por transplante de órgão no brasil. *Ministério da Saúde Brasileiro*, 2024. Disponível em: <<https://acesse.dev/4Yxww>>. Acesso em: 12 de Abr. 2024.

MULTILOGICA-SHOP. *Arduino guia iniciante*. 1^a. ed. [S.l.: s.n.], 2017. 70-76 p.

MUXITO, E.; AKAMINE, C. Monitoring the health of heart failure patients using an artificial heart. *4. Interdisciplinary Conference on Electrics and Computer (INTCEC 2024) - Chicago -US*, p. 1–6, jun 2024.

MUXITO, E. M. et al. Iot na agricultura – automação de pivôs e canais de irrigação com arduino e webservice. CIATUnasp, São Paulo, p. 1, 2018.

NASCIMENTO, M. G. Internet das coisas e aprendizagem de máquina a aplicação ao conforto térmico de ambiente interno. Dissertação - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, A. S. et al. 5g e 6g - contribuições para a evolução de projetos iot. Artigo - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, p. 3, 2022.

OLIVEIRA, K. Microcontroladores: o que considerar na hora de escolher. *Arnerobotics*, Vsof Ambassador, 2021. Disponível em: <<https://www.vsoft.com.br/post/escolher-microcontroladores>>. Acesso em: 7 de set. 2022.

OMS. Oms revela principais causas de morte e incapacidade em todo o mundo entre 2000 e 2019. Organização Mundial de Saúde, 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/104646-oms-revela-principais-causas-de-morte-e-incapacidade-em-todo-o-mundo-entre-2000-e-2019>>. Acesso em: 31 de out. 2022.

PEREIRA, C. et al. Energy efficiency across programming languages. how do energy, time, and memory relate? *Universidade do Minho, Portugal*, oct 2017.

PROVOST, F.; FAWCETT, T. *Data Science for Business: What you need to know about data mining and data-analytic thinking*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013.

RASPBERRY. Raspberry pi pico w datasheet and rp2040-base microcontroller board with wireless. *Raspberry Pi Ltd*, oct 2023.

RICHERT, W. *Building machine learning systems with Python*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2013.

ROCHA, J.; TURRI, F.; BOCK, E. Coração artificial pneumático: seleção de materiais, fabricação de protótipo e ensaios hidrodinâmicos. 2020.

ROHDE, L. E.; PAIM, L. E. et al. Diretriz brasileira de insuficiência cardíaca crônica e aguda. *Arq Bras Cardiol*, Sociedade Brasileira de Cardiologia, v. 111, n. 3, p. 436–539, 2018.

RUSSOM, P. et al. Big data analytics. *TDWI best practices report, fourth quarter*, v. 19, n. 4, p. 1–34, 2011.

SALESFORCE, T. A guide to data driven decision making: What it is, its importance, & how to implement it. 2024. Disponível em: <<https://www.tableau.com/learn/articles/data-driven-decision-making>>. Acesso em: 07 de Abr. 2024.

SANTOS, R. What is mqtt and how it works. *Random Nerd Tutorials*, 2021. Disponível em: <<https://randomnerdtutorials.com/what-is-mqtt-and-how-it-works/>>. Acesso em: 5 de set. 2022.

SERVICES, A. W. O que é a internet das coisas (iot)? 2023. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/iot/>>. Acesso em: 02 de Mar. 2024.

SILVA, D. da. Conheça os 4 tipos de análise de dados para criar estratégias certas. *Zendesk*, feb 2021.

SIMCOM, S. Sim800c hardware designer v1.02. *Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd.*, p. 9–14, apr 2015.

SOARES, M. J. Microcontroladores - qual a melhor linguagem de programação? *Arnerobotics*, 2022. Disponível em: <<https://acesse.dev/qxng1>>. Acesso em: 2 de out. 2022.

SOUZA, J. C. S. Knowledge discovery in databases of forced outage of distribution utilities. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*, apr 2010.

STANFORD, H. C. Left ventricular assist device (lvad). *Stanford Medicine*, 2023. Disponível em: <<https://stanfordhealthcare.org/medical-treatments/l/lvad.html>>. Acesso em: 10 de nov. 2023.

TELECO. Market share 4g das operadoras de celular. aug 2014. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/4g_brasil.asp>. Acesso em: 18 de Ago. 2024.

TEMER, M. et al. Lei geral de proteção de dados pessoais (lgpd). *Presidência da República Secretaria-Geral Subchefia para Assuntos Jurídicos*, aug 2018. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/jK5EQ>>. Acesso em: 26 de Mar. 2024.

UEBELHART, B. et al. Coração artificial e dispositivos de assistência circulatória no brasil e no mundo. *Revista Sinergia*, v. 11, n. 2, p. 151–155, 2010.

UTAH, U. of. Types of vads, total artificial hearts, & other mcs call 801-585-5122 or request an appointment. *University of Utah Health*, 2023. Disponível em: <<https://healthcare.utah.edu/transplant/lvad-mcs/ventricular-assist-device-types>>. Acesso em: 27 de nov. 2023.

VAIDYA, Y.; RIAZ, S. et al. Left ventricular assist devices. *National Library fo Medicine*, aug 2023. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499841/>>. Acesso em: 26 de nov. 2023.

WONG, C. *Http pocket reference: Hypertext transfer protocol*. 1ª. ed. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2000. 1 p.

XAVIER, A. C. C.; GOTTSCHALG-DUQUE, C. Prontuário eletrônico do paciente: qual a contribuição da arquivística e do smart contracts para a sua gestão na era da saúde 4.0? *Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil.*, jul 2021.

APÊNDICE

Segue link dos repositórios desenvolvidos neste projeto:

Repositório do Projeto

Link de <https://github.com/ezeziel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial>.
git

Repositório da API desenvolvido em *Python*

Link de <https://github.com/ezeziel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/tree/main/app-iot-ca%20>

Repositório dos códigos em C

Link de <https://github.com/ezeziel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/tree/main/sketch-iot-ca>

Repositório do modelo de análise de dados desenvolvidos em *Python* na plataforma *Jupyter Notebook*

Link de <https://github.com/ezeziel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/tree/main/jupyter-notebook>

Listagens

Listing 1: Método para salvar os dados.

<https://github.com/ezeziel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/blob/main/listings%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20/listing-create-data.py>

Listing 2: Classe de envio de notificação.

<https://github.com/ezeziel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/blob/main/listings%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20/listing-class-notification.py>

Listing 3: Método de coleta de dados dos sensores.

```
https://github.com/ezekiel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/blob/  
main/listings%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20/listing-collect-data.c
```

Listing 4: Software da aplicação.

```
https://github.com/ezekiel9m/projeto-mestrado-iot-coracao-artificial/blob/  
main/code-c/projeto\_iot\_ca/projeto\_iot\_ca.ino
```