



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

Leandro Manoel Cardoso

IoT na Saúde Doméstica: Estudos de Caso e Especificação de uma Aplicação

Florianópolis

2024

Leandro Manoel Cardoso

IoT na Saúde Doméstica: Estudos de Caso e Especificação de uma Aplicação

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Eletrônica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador(a): Prof. Richard Demo Souza, Dr.

Florianópolis

2024

Cardoso, Leandro Manoel

IoT na Saúde Doméstica : Estudos de Caso e
Especificação de uma Aplicação / Leandro Manoel Cardoso ;
orientador, Richard Demo Souza, 2024.

80 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Eletrônica,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

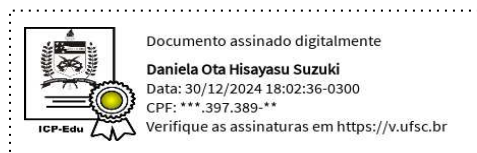
1. Engenharia Eletrônica. 2. Internet das Coisas. 3.
Monitoramento de Idosos. 4. IoT na Saúde Doméstica. I.
Souza, Richard Demo. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Eletrônica. III. Título.

Leandro Manoel Cardoso

IoT na Saúde Doméstica: Estudos de Caso e Especificação de uma Aplicação

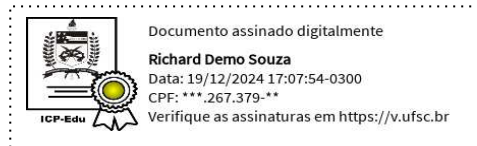
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica.

Florianópolis, 13 de dezembro de 2024.

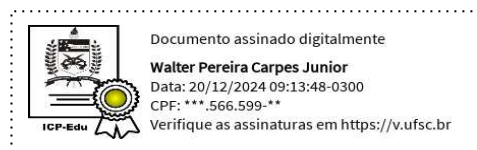


Prof^ª. Daniela Ota Hisayasu Suzuki, Dr^ª.
Coordenadora do Curso

Banca examinadora



Prof. Richard Demo Souza, Dr.
Orientador



Prof. Walter Pereira Carpes Junior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Jamil de Araujo Farhat, Dr
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Florianópolis, 2024.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio incondicional e incentivo ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, por sempre estarem ao meu lado e me incentivarem a estudar desde a infância. Sem o apoio e carinho deles, eu jamais teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, Richard, pela paciência e por estar sempre disposto a me ajudar e tirar minhas dúvidas.

Aos meus amigos da graduação, pela parceria e pelos momentos que passamos juntos.

Agradeço aos membros da banca por aceitarem avaliar o meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos que me apoiaram e tornaram possível a conclusão desta jornada acadêmica.

RESUMO

A IoT possui enorme potencial para a saúde doméstica e, entre as aplicações, o monitoramento de idosos vem ganhando destaque devido ao envelhecimento da população mundial. Este trabalho fornece uma visão geral dos conceitos de IoT, discute algumas aplicações da IoT na saúde doméstica através de estudos de caso, especifica um sistema IoT amplo para o monitoramento de idosos e desenvolve uma interface na plataforma ThingSpeak para validar o conceito. O sistema especificado seria composto por uma pulseira contendo diversos sensores, um medidor de glicose e um gerenciador de medicamentos. A interface desenvolvida no ThingSpeak apresenta o histórico e os valores em tempo real, através de dashboards, dos sinais de frequência cardíaca, temperatura superficial, saturação de oxigênio, pressão arterial e glicose. A interface também mostra o consumo de medicamentos e quando ocorre uma queda. Alertas são enviados quando valores anormais são detectados, nos horários de consumo dos medicamentos e quando uma queda é detectada. Referente à medição de glicose, de modo a alertar o usuário de forma preditiva, um algoritmo de regressão linear foi utilizado para prever condições de hipoglicemia e hiperglicemia, enviando alertas automaticamente por e-mail quando níveis anormais de glicose são previstos. Os resultados obtidos demonstram o potencial do sistema especificado para proporcionar um monitoramento de saúde eficiente e contínuo.

Palavras-chave: Internet das Coisas; IoT na Saúde Doméstica; Monitoramento de Idosos.

ABSTRACT

IoT has enormous potential for home health and, among applications, monitoring elderly people has gained prominence due to the aging of the world population. This work provides an overview of IoT concepts, discusses some applications of IoT in home healthcare through case studies, specifies a broad IoT system for monitoring elderly people, and develops an interface on the ThingSpeak platform to validate the concept. The specified system would consist of a bracelet containing several sensors, a glucose meter and a medication manager. The interface developed in ThingSpeak presents the history and real-time values, through dashboards, of heart rate signals, surface temperature, oxygen saturation, blood pressure and glucose. The interface also shows medication consumption and when a fall occurs. Alerts are sent when abnormal values are detected, at medication consumption times and when a drop is detected. A linear regression algorithm was used to predict hypoglycemia and hyperglycemia conditions, automatically sending email alerts when abnormal glucose levels are predicted. The results obtained demonstrate the potential of the specified system to provide efficient and continuous health monitoring.

Keywords: Internet of Things; IoT in Home Health; Elderly Monitoring.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	FUNDAMENTOS DE IOT	18
2.1	DEFINIÇÃO E CONCEITOS DE IOT	18
2.2	ARQUITETURA DE SISTEMAS IOT.....	18
2.3	TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS.....	20
2.3.1	Sensores e Atuadores.....	20
2.3.2	Topologias de Redes.....	21
2.3.2.1	<i>Estrela.....</i>	<i>21</i>
2.3.2.2	<i>Mesh.....</i>	<i>21</i>
2.3.3	Tecnologias de Comunicação.....	22
2.3.3.1	<i>LoRa.....</i>	<i>22</i>
2.3.3.2	<i>NB-IoT.....</i>	<i>23</i>
2.3.3.3	<i>ZigBee.....</i>	<i>24</i>
2.3.3.4	<i>Wi-Fi.....</i>	<i>25</i>
2.3.3.5	<i>Bluetooth.....</i>	<i>26</i>
2.3.4	Protocolos de Internet.....	27
2.3.4.1	<i>MQTT.....</i>	<i>27</i>
2.3.4.2	<i>CoAP.....</i>	<i>27</i>
2.3.5	Gestão de Dados.....	28
2.3.5.1	<i>Cloud Computing.....</i>	<i>28</i>
2.3.5.2	<i>Edge Computing.....</i>	<i>29</i>
2.3.5.3	<i>Big Data.....</i>	<i>30</i>
3	APLICAÇÕES DE IOT NA SAÚDE DOMÉSTICA	32
3.1	MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS.....	32
3.1.1	Dispositivos e Tecnologias Utilizadas	32
3.1.1.1	<i>Medidores de Frequência Cardíaca.....</i>	<i>32</i>
3.1.1.2	<i>Monitores Contínuos de Glicose.....</i>	<i>33</i>
3.1.1.3	<i>Medidores de Pressão Arterial.....</i>	<i>34</i>
3.1.1.4	<i>Medidores de Saturação de Oxigênio.....</i>	<i>35</i>
3.1.1.5	<i>Termômetros Conectados.....</i>	<i>36</i>
3.1.1.6	<i>Monitores de Sinais Bioelétricos.....</i>	<i>37</i>

3.1.2	Estudo de Caso: Design and development of a cost-effective portable IoT enabled multi-channel physiological signal monitoring system.....	38
3.1.2.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	38
3.1.2.2	<i>Descrição do Sistema.....</i>	38
3.1.2.3	<i>Resultados</i>	39
3.1.2.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros.....</i>	40
3.1.3	Estudo de Caso: Design and Implementation of an Interoperable IoT Based Health Monitoring System for Diabetes	41
3.1.3.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	41
3.1.3.2	<i>Descrição do Sistema.....</i>	41
3.1.3.3	<i>Resultados</i>	42
3.1.3.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros.....</i>	42
3.1.4	Estudo de Caso: Remote Health Monitoring System for the Estimation of Blood Pressure, Heart Rate, and Blood Oxygen Saturation Level.....	43
3.1.4.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	43
3.1.4.2	<i>Descrição do Sistema.....</i>	43
3.1.4.3	<i>Resultados</i>	44
3.1.4.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros.....</i>	45
3.2	MONITORAMENTO DE QUEDAS	45
3.2.1	Estudo de Caso: ICFY (I Care For You): An IOT Based Fall Detection and Monitoring Device using ESP32 - CAM and MPU 6050 Sensors.....	46
3.2.1.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	46
3.2.1.2	<i>Descrição do Sistema.....</i>	46
3.2.1.3	<i>Resultados</i>	47
3.2.1.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros.....</i>	47
3.2.2	Estudo de Caso: Fall Risk Prediction Using Wireless Sensor Insoles With Machine Learning	48
3.2.2.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	48
3.2.2.2	<i>Metodologia</i>	48
3.2.2.3	<i>Resultados</i>	49
3.2.2.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros.....</i>	50
3.3	GESTÃO DE MEDICAMENTOS	50
3.3.1	Estudo de Caso: Smart Medication Management: Enhancing Medication Adherence with an IoT-Based Pill Dispenser and Smart Cup.....	51

3.3.1.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	51
3.3.1.2	<i>Descrição do Sistema</i>	51
3.3.1.3	<i>Resultados</i>	52
3.3.1.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros</i>	52
3.4	MONITORAMENTO DE ASMA	53
3.4.1	Estudo de Caso: Smart Asthma Inhaler with Smart Band	53
3.4.1.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	53
3.4.1.2	<i>Descrição do Sistema</i>	53
3.4.1.3	<i>Resultados</i>	54
3.4.1.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros</i>	55
3.5	MONITORAMENTO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIAS COGNITIVAS	55
3.5.1	Estudo de Caso: Activity Monitoring and Location Sensory System for People With Mild Cognitive Impairments	55
3.5.1.1	<i>Introdução ao Estudo de Caso</i>	55
3.5.1.2	<i>Descrição do Sistema</i>	56
3.5.1.3	<i>Resultados</i>	57
3.5.1.4	<i>Discussão e Trabalhos Futuros</i>	57
4	ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA IOT PARA O MONITORAMENTO DE IDOSOS	59
4.1	ARQUITETURA DO SISTEMA	59
4.2	SUB-SISTEMAS E DISPOSITIVOS UTILIZADOS	59
4.2.1	Pulseira Inteligente	59
4.2.2	Medidor de Glicose	61
4.2.3	Gerenciador de Medicamentos	61
4.3	INTEGRAÇÃO COM IA E COMPUTAÇÃO NA NUVEM	62
4.3.1	Algoritmos de IA Utilizados	62
4.3.2	Plataforma de Computação na Nuvem	62
4.4	DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE NO THINGSPEAK	63
4.4.1	Monitoramento dos Sinais Vitais	64
4.4.1.1	<i>Frequência Cardíaca</i>	64
4.4.1.2	<i>Saturação de Oxigênio</i>	65
4.4.1.3	<i>Temperatura Superficial</i>	66
4.4.1.4	<i>Pressão Arterial</i>	67
4.4.1.5	<i>Glicose</i>	68

4.4.2	Detecção de quedas	69
4.4.3	Gerenciador de Medicamentos	70
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	72
5.1	CONCLUSÃO	72
5.2	TRABALHOS FUTUROS.....	73
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) está revolucionando o modo como interagimos com os objetos do cotidiano. Cada vez mais as “coisas” estão conectadas à Internet e são capazes de trocar enormes quantidades de dados valiosos. Essa vasta rede de dispositivos interconectados oferece uma ampla gama de aplicações, especialmente na área da saúde. A IoT possui um grande potencial para aplicações médicas, e entre essas aplicações, o monitoramento de idosos tem atraído a atenção de pesquisadores e empresas, por conta da expectativa de aceleração do envelhecimento da população mundial (PINTO; CABRAL; GOMES, 2017).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (2024), a população de pessoas com mais de 60 anos está crescendo rapidamente, com uma previsão de dobrar até 2050, chegando a 2,1 bilhões. Já o número de idosos com 80 anos ou mais deverá triplicar, alcançando 426 milhões. Esse aumento da população idosa eleva a demanda por soluções inovadoras que ofereçam cuidados de saúde eficientes e personalizados.

A IoT na saúde doméstica oferece uma solução eficiente e de rápida intervenção para o monitoramento contínuo do estado de saúde dos idosos. Cientistas tem utilizado tecnologias de comunicação sem fio para projetar diversos sistemas de monitoramento. Esses sistemas podem desempenhar uma variedade de funções, como o monitoramento contínuo de sinais vitais, detecção de quedas, gestão de medicamentos e o monitoramento de doenças crônicas (ELKAHLOUT *et al.*, 2020).

Este trabalho tem como objetivo fornecer uma visão geral da estrutura de um sistema IoT, explorar o estado da arte das aplicações de IoT na saúde doméstica através de estudos de caso, e especificar um sistema IoT para o monitoramento de idosos. Além disso, visa criar uma interface na plataforma ThingSpeak como uma prova de conceito, para demonstrar a viabilidade do sistema proposto e seu potencial para futuros desenvolvimentos.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: No Capítulo 2 são apresentados os fundamentos de IoT, incluindo definições e conceitos, a arquitetura de sistemas IoT e as tecnologias envolvidas. No Capítulo 3, são explorados os dispositivos tipicamente utilizados para o monitoramento de sinais vitais e diversas aplicações da IoT na saúde doméstica são apresentadas através de estudos de caso. O Capítulo 4 especifica um sistema IoT abrangente para o monitoramento de idosos,

com o desenvolvimento de uma interface na plataforma ThingSpeak. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e sugere direções para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTOS DE IOT

Este capítulo apresenta alguns fundamentos e tecnologias que formam a base da IoT. Serão abordadas as definições e conceitos de IoT, a arquitetura dos sistemas IoT e as principais tecnologias envolvidas.

2.1 DEFINIÇÃO E CONCEITOS DE IOT

A IoT pode ser definida como uma vasta rede de dispositivos inteligentes capazes de detectar, acumular e transferir dados através da Internet. Ela combina tecnologias de detecção, comunicações, informação e automação para interconectar objetos físicos à Internet. Isso possibilita a comunicação entre humanos e objetos, bem como entre os próprios objetos, permitindo controle em tempo real, gestão precisa e tomada de decisões inteligentes sobre o mundo físico (SARTIKA *et al.*, 2021).

De acordo com Al-Awami, Mahfud Al-Aty e Al-Najar (2023), a IoT descreve um “novo mundo” em que a maioria dos dispositivos que utilizamos está conectada à Internet. Esses dispositivos IoT possuem sensores integrados, atuadores, processadores e transceptores, permitindo-lhes realizar tarefas complexas que exigem alta inteligência.

2.2 ARQUITETURA DE SISTEMAS IOT

Existe uma variedade de arquiteturas de Sistemas IoT definidas na literatura. Al-Awami, Mahfud Al-Aty e Al-Najar (2023) apresentam uma arquitetura que foi introduzida no estágio inicial do desenvolvimento da IoT, contendo três camadas:

- 1) Percepção: Contém sensores que detectam e coletam informações, medem alguns parâmetros físicos e reconhecem outros dispositivos inteligentes.
- 2) Rede: Faz a conexão entre os dispositivos inteligentes, dispositivos de rede e servidores, além da transmissão e processamento dos dados obtidos.
- 3) Aplicação: Fornece serviços de aplicação ao usuário, como casas inteligentes, cidades inteligentes e saúde inteligente.

Com a evolução da IoT, Al-Fuqaha et al. (2015) propuseram uma arquitetura mais moderna e detalhada, acrescentando duas camadas adicionais:

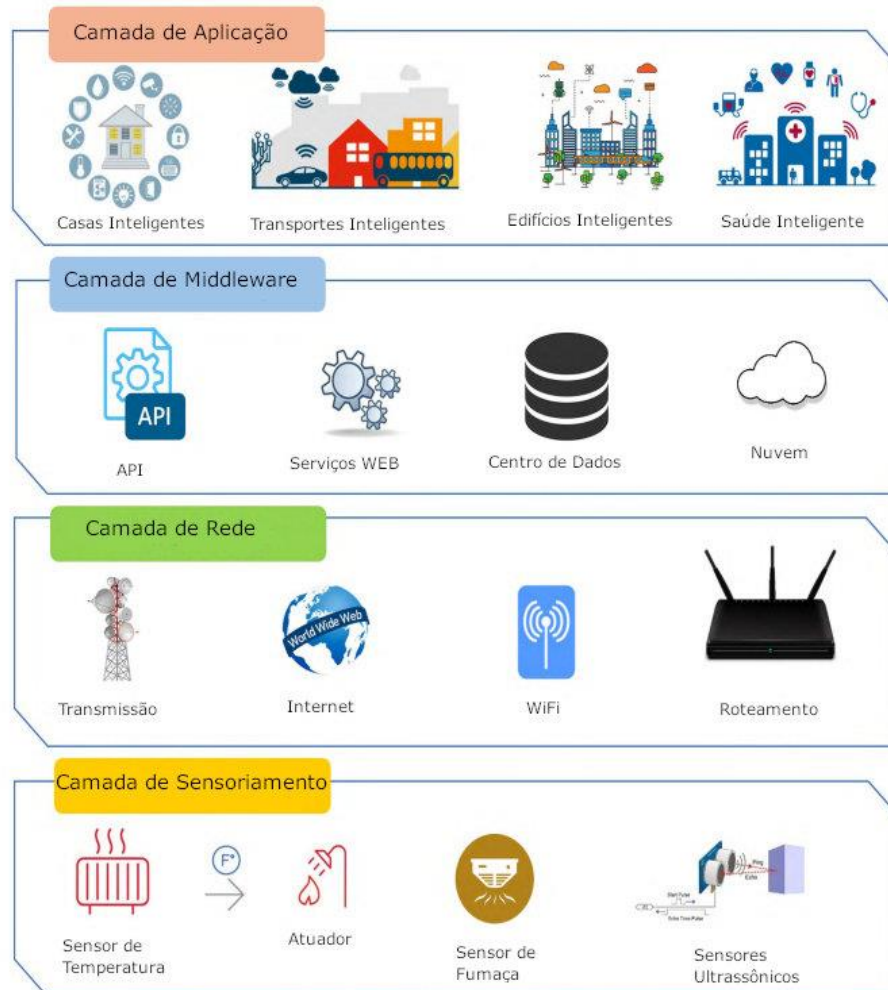
- 1) Percepção: Similar à proposta anterior, essa camada contém sensores e atuadores para realizar diferentes funções. Nela, os dados são digitalizados e transferidos para a camada de Abstração de Objetos.
- 2) Abstração de Objetos: Transfere os dados gerados na camada de Percepção para a camada de Middleware utilizando várias tecnologias de comunicação. Computação em nuvem e gestão de dados também ocorrem nessa camada.
- 3) Middleware: Realiza o pareamento de um serviço com seu solicitante, processa os dados recebidos, toma decisões e entrega os serviços necessários utilizando protocolos de rede.
- 4) Aplicação: Similar à camada de aplicação de Al-Awami et al. (2023), fornece os serviços solicitados pelos usuários em diversas áreas de aplicações.
- 5) Negócios: É a camada responsável pelo gerenciamento das atividades e serviços do sistema IoT, utilizando análises de Big Data para suporte na tomada de decisões, desenvolvimento de modelos de negócios e aprimoramento de serviços.

Hassija et al. (2019), por sua vez, apresentam uma arquitetura intermediária, com quatro camadas, que também expande a proposta de Al-Awami et al. (2023) ao introduzir uma camada de Middleware. Esta abordagem se aproxima da arquitetura proposta por Al-Fuqaha et al. (2015), mas sem a camada de Negócios:

- 1) Sensoriamento: Equivalente à camada de Percepção nas arquiteturas anteriores.
- 2) Rede: Similar à camada de Rede proposta por Al-Awami et al. (2023), encarregada de transmitir dados para a camada de Middleware.
- 3) Middleware: Combina funções de processamento e armazenamento de dados, além de fornecer APIs e outros componentes como brokers, sistemas de enfileiramento e machine learning.
- 4) Aplicação: Mantém a função de fornecer serviços ao usuário final, como nas camadas de Aplicação das arquiteturas anteriores.

A Figura 1 ilustra essa arquitetura de quatro camadas.

Figura 1: Arquitetura de um Sistema IoT



Fonte: Hassija et al. (2019) (adaptado)

2.3 TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS

2.3.1 Sensores e Atuadores

Sensores são dispositivos que produzem respostas mensuráveis quando ocorre uma alteração em uma condição física para a qual foram projetados. Eles estão presentes em qualquer aplicação de IoT, desempenhando um papel fundamental na coleta de dados. Existem diferentes tipos de sensores utilizados em IoT, que podem ser classificados de acordo com suas especificações, tipo de material, fenômeno físico de sensoriamento, campo de aplicação, entre outros critérios. Alguns exemplos de sensores são: de proximidade, de posição, de movimento, de velocidade, de temperatura, químicos, de umidade, ultrassônicos, etc. (SEHRAWAT; GILL, 2019).

Atuadores, por sua vez, são dispositivos que realizam movimentos para atingir um objetivo específico (ARAUZ; FYNN-CUDJOE, 2013). De acordo com Banotra et al (2023), eles podem ser classificados principalmente em dois tipos: contínuos e binários. Um exemplo de atuador binário com dois estados é um relé, que pode estar em um estado travado (ligado) ou destravado (desligado). Já um motor exemplifica um atuador contínuo, capaz de rotacionar em um ângulo de 360°. Outros exemplos de atuadores incluem servo motores, motores de passo, atuadores hidráulicos e pneumáticos.

2.3.2 Topologias de Redes

Uma topologia de rede refere-se à estrutura ou layout de como os nós em uma rede estão interconectados. Essa configuração determina o caminho que os dados percorrem entre os dispositivos. Existem algumas topologias disponíveis para o uso em redes de sensores IoT, duas das mais comuns são estrela e mesh. Cada uma das duas tem suas vantagens e desvantagens e sua escolha depende da tecnologia de comunicação utilizada e da arquitetura da rede.

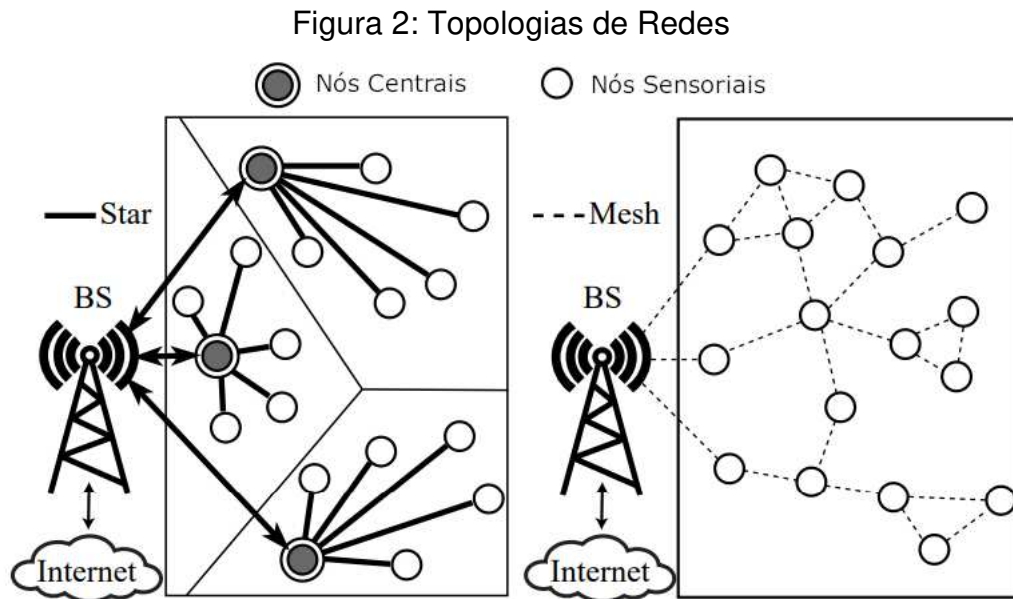
2.3.2.1 Estrela

A rede em estrela (star) é a mais simples entre as duas topologias. Ela possui um nó central que gerencia a conexão com os outros nós da rede. A principal vantagem dessa topologia é que toda a complexidade da rede fica no nó central, logo, os outros nós só precisam se comunicar dentro do seu próprio intervalo de tempo e frequência. A principal desvantagem é que a falha no nó central impede a transmissão de dados pela rede (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

2.3.2.2 Mesh

Na topologia de rede em mesh cada dispositivo além de receber e transmitir os pacotes de dados, também é responsável por fazer o roteamento para os nós vizinhos. Dessa forma, todos os nós cooperam com o destino dos pacotes. Sua principal vantagem é a alta tolerância a falhas, já que oferece várias rotas redundantes

através da rede. Sua principal desvantagem é que a comunicação entre dois nós tem um alcance reduzido em relação à topologia estrela, tornando necessário a adição de mais nós na rede, aumentando sua complexidade, apenas para alcançar pontos mais distantes (DOS SANTOS *et al.*, 2019). A Figura 2 ilustra as duas topologias apresentadas.



2.3.3 Tecnologias de Comunicação

As tecnologias de comunicação sem fio desempenham um papel fundamental nas aplicações de IoT, oferecendo soluções variadas a depender da necessidade. Cada tecnologia possui suas características que a tornam mais adequadas para cada aplicação, considerando fatores como alcance, consumo energético, taxas de transferência, largura de banda e custo. Nesta subseção serão abordadas algumas das tecnologias mais populares no contexto da IoT.

2.3.3.1 LoRa

LoRa é uma tecnologia de comunicação sem fio LPWAN (Low Power Wide Area Network), que oferece um longo alcance, baixo consumo de energia e uma transmissão de dados segura. A modulação é feita através da técnica de espalhamento de espectro e são utilizadas as faixas de frequências ISM não

licenciadas. A taxa de transferência varia entre 300 bps e 50 kbps. É capaz de transmitir até 243 bytes por mensagem. Alcança uma maior distância ao custo de uma menor taxa de transferência, e vice versa (MEKKI et al., 2019).

Um protocolo chamado LoRaWAN foi desenvolvido pela LoRa Alliance. Esse protocolo garante que os dispositivos, servidores e softwares trabalhem em conjunto de maneira eficiente e segura (DUNKO *et al.*, 2017). A seguir estão listadas algumas das principais características do LoRa (MEKKI et al., 2019; DUNKO et al., 2017):

- Opera nas bandas ISM não licenciadas < 1 GHz.
- Longo alcance: 20 km (rural), 5 km (urbano).
- Máxima taxa de transferência: 50 kbps.
- Comprimento de Payload máximo: 243 bytes.
- Longa duração de bateria: acima de 10 anos.
- Rede com autenticação e criptografia (AES).

2.3.3.2 NB-IoT

NB-IoT é um padrão de comunicação de banda curta, longo alcance e baixo consumo energético (LPWAN), que utiliza o espectro licenciado e aproveita as redes móveis já existentes (MEKKI *et al.*, 2019). Este padrão utiliza a tecnologia SIM, que garante medidas de segurança de alta qualidade, como proteção de identidade do usuário, autenticação, integridade dos dados e identificação dos dispositivos móveis (DUNKO *et al.*, 2017).

Padronizado pelo 3rd Generation Partnership Project (3GPP), o NB-IoT é baseado no protocolo de comunicação LTE. Por consequência, a maioria dos fabricantes de dispositivos móveis oferecem suporte ao NB-IoT, e isso permite que essa tecnologia coexista com as redes móveis de celulares. Apesar de os módulos NB-IoT serem geralmente baratos de produzir, por operar na faixa de frequências licenciadas, o padrão envolve o pagamento de mensalidades, o que pode aumentar os custos de implementação (DUNKO *et al.*, 2017).

As principais características do NB-IoT são as seguintes (MEKKI *et al.*, 2019):

- Modulação OFDM.
- Opera nas bandas de frequência LTE licenciadas.
- Taxa de transferência máxima: 200 kbps.

- Payload máximo de 1600 bytes.
- Alcance de 10 km (rural), 1 km (urbano).
- Conecta até 100 mil dispositivos por célula.
- Bateria com duração de até 10 anos.

2.3.3.3 ZigBee

O ZigBee é uma tecnologia de comunicação sem fio de médio alcance que utiliza o padrão IEEE 802.15.4, que garante uma conexão altamente confiável, com um baixo consumo energético, segurança elevada e uma baixa taxa de transferência de dados (GISLASON, 2008).

A arquitetura ZigBee é composta por três tipos de dispositivos (PANDEY *et al.*, 2018):

- 1) Coordenador: O coordenador é nó responsável pela organização da rede, onde ficam armazenadas suas informações, incluindo chaves de segurança. Ele faz a conexão com outras redes IP ou não IP.
- 2) Roteador: O roteador geralmente é utilizado para aumentar a área de cobertura da rede. Ele atua como uma ponte entre o coordenador e o dispositivo final para a transmissão de dados.
- 3) Dispositivo Final: Os dispositivos finais são sensores e atuadores que transmitem informações para o coordenador ou recebem comandos para executar alguma função.

As principais características do ZigBee são as seguintes (ALI *et al.*, 2019; GAVRA; POP, 2020) :

- Opera globalmente na frequência de 2.4 GHz (Em alguns países são usadas as frequências de 868 MHz ou 915 MHz).
- Alcance de até 100 metros.
- Suporta até 65 mil dispositivos na mesma rede.
- Utiliza criptografia AES 128-bit.
- Taxa máxima de transferência de 250 kbps.

2.3.3.4 Wi-Fi

O Wi-Fi (Wireless Fidelity) é uma tecnologia de comunicação sem fio de área local (WLAN) que utiliza o padrão IEEE 802.11, com os principais objetivos de trocas de dados e conexão à Internet. Para transmitir sinal a um dispositivo sem fio, geralmente é necessário um ponto de acesso, permitindo que o dispositivo se conecte a esse ponto de acesso e obtenha conexão com a Internet (SAMSIAR *et al.*, 2017). É uma solução de custo relativamente baixo, que oferece altas velocidades de transferência de dados e facilidade de uso (ERIDANI; ROCHIM; CESARA, 2021).

O padrão IEEE 802.11 foi introduzido em 1997 e desde então vem sofrendo aperfeiçoamentos importantes. A primeira geração do Wi-Fi foi o IEEE 802.11b, e as gerações seguintes foram os padrões IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ax e a sétima geração (IEEE 802.11be) ainda está em desenvolvimento (MOZAFFARIAHRAR; THEOLEYRE; MENTH, 2022). A evolução dessas gerações focou principalmente no aumento da taxa de transferência de dados em um ambiente com alta Relação Sinal-Ruído (SNR), com o objetivo de atender à crescente demanda por largura de banda (ZTE CORPORATION, 2020). A geração atual (802.11ax) apresenta uma melhor eficiência energética e maior confiabilidade em ambientes com muitos sinais, em comparação com as gerações anteriores (FAN; GE; YU, 2022).

A evolução do Wi-Fi também procurou atender às necessidades das aplicações de IoT. O padrão IEEE802.11ah (Wi-Fi HaLow) foi desenvolvido pensando no cenário IoT e comunicações M2M. Esse padrão opera na frequência de 900 MHz, permitindo um alcance maior, um baixo consumo energético e um suporte a uma grande quantidade de dispositivos conectados. O protocolo é projetado para a transmissão de dados em curtos intervalos, com baixo consumo de energia, o que permite que sensores remotos com limitações de largura de banda e bateria operem com mais eficiência (MARTÍNEZ; RIBEIRO; MOTA, 2024).

As principais características do Wi-Fi são as seguintes (FAN; GE; YU, 2022; MOZAFFARIAHRAR; THEOLEYRE; MENTH, 2022b; ZTE CORPORATION, 2020):

- Padrão definido pela Wi-Fi Alliance.
- Opera nas faixas de frequência de 2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz (Wi-Fi 6E).
- Taxa de transferência máxima de 9,6 Gbit/s (802.11ax).
- Conexão criptografada: WPA3 (802.11ax).

2.3.3.5 Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance que utiliza a faixa de frequências não licenciada de 2,4 GHz. Foi desenvolvido inicialmente para a transmissão de dados entre computadores e dispositivos móveis, como substituto aos cabos de dados (BARUA *et al.*, 2022).

Com o passar dos anos, a tecnologia Bluetooth foi sendo aprimorada, e surgiram três principais camadas físicas distintas: Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), High Speed (HS) e Low Energy (BLE). A partir do lançamento do Bluetooth 4.0, as duas primeiras camadas físicas passaram a ser chamadas de Bluetooth Clássico, enquanto a camada Low Energy ficou conhecida como BLE. Embora tanto o Bluetooth Clássico quanto o BLE sejam utilizados atualmente, o BLE é a versão mais utilizada em dispositivos móveis e IoT, devido à sua eficiência energética e suporte a múltiplos tipos de comunicação (LACAVA *et al.*, 2022).

Enquanto o Bluetooth clássico oferece comunicação ponto a ponto e é utilizado para transferir grandes quantidades de dados, o BLE também oferece comunicações por broadcast e por redes mesh. O modo de comunicação mesh permite comunicações muitos-para-muitos e cria uma rede baseada em inundação, interconectando todos os dispositivos, muito útil para realizar soluções complexas em IoT (LACAVA *et al.*, 2022).

Abaixo estão as principais características do Bluetooth (BARUA *et al.*, 2022; LACAVA *et al.*, 2022):

- Padrão definido pelo Bluetooth Special Interest Group (SIG).
- Opera na frequência de 2,4 GHz.
- Alcance de até 100 m (BLE < 100m).
- Taxa de transferência de até 3 Mbps (BLE até 1 Mbps).
- Consumo de corrente menor que 30 mA (BLE < 15 mA).
- Tamanho máximo da mensagem de 358 bytes (BLE: 47 bytes).
- Criptografia AES de 128 bits.

É importante destacar que existem outras tecnologias de comunicação sem fio disponíveis para aplicações de IoT. Aqui foram apresentadas algumas das tecnologias mais utilizadas e conhecidas.

2.3.4 Protocolos de Internet

Os dispositivos IoT são heterogêneos e frequentemente apresentam restrições de energia e armazenamento. Para lidar com essas restrições, foram desenvolvidos protocolos de Internet mais leves e otimizados. Embora existam diversos protocolos disponíveis para aplicações IoT, dois se destacam como os mais amplamente utilizados: Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) e Constrained Application Protocol (CoAP) (SEOANE *et al.*, 2021).

2.3.4.1 MQTT

O MQTT é um protocolo do tipo publish/subscribe, que opera sobre o TCP/IP. O cliente (publicador/assinante) conecta-se a um broker (servidor) para receber notificações de novas mensagens. É comumente utilizado em aplicações onde é necessária uma largura de banda reduzida (SEOANE *et al.*, 2021).

Diversos clientes podem inscrever-se em um broker central afim de acumular tópicos de mensagens. Um cliente recebe uma mensagem do broker, no qual ele se inscreveu, quando uma mensagem é postada pelo dispositivo. O objetivo do broker é confirmar a entrega das mensagens. É um modelo de troca de mensagens muito eficiente em termos de recursos, o qual é muito utilizado em comunicação M2M por conta do seu protocolo de mensagens leve. O protocolo proporciona segurança mesmo em caso de interrupção da conexão, podendo ser utilizado em conexões não confiáveis (SEOANE *et al.*, 2021).

2.3.4.2 CoAP

É um protocolo especialmente projetado para a troca de dados entre a Internet e dispositivos IoT, oferecendo suporte a multicast. O CoAP segue o modelo de comunicação request/response entre terminais de aplicação, e é implementado sobre

o UDP, afim de otimizar a comunicação. Devido à não confiabilidade do protocolo UDP, o CoAP possui recursos adicionais para melhorar esse aspecto (DAVE; DOSHI; AROLKAR, 2020).

Devido ao uso da Internet pela maioria dos dispositivos IoT, o uso de um API web se torna necessário. Este protocolo é muito utilizado em redes com recursos limitados, que contam com dispositivos com baixa capacidade de processamento, frequentemente alimentados por baterias e que operam em baixa potência. Protocolos de redes limitadas sofrem de altas taxas de erro nos pacotes de comunicação, para contornar esse problema, é utilizado o CoAP para aplicações M2M (DAVE; DOSHI; AROLKAR, 2020).

2.3.5 Gestão de Dados

A diversidade de bilhões de dispositivos IoT fornece continuamente um grande volume de dados. No entanto, esses dispositivos geralmente possuem recursos muito limitados em termos de processamento, armazenamento e consumo energético. Por conta disso, uma vez coletados os dados, surgem os problemas relacionados ao desempenho, confiabilidade, armazenamento seguro desses dados, consulta em tempo real, entre outros. Essas questões tornam o gerenciamento de dados um dos aspectos mais importantes em IoT (DIENE *et al.*, 2020).

2.3.5.1 *Cloud Computing*

Quando as aplicações de IoT exigem alto poder de processamento, amplo espaço de armazenamento e alta disponibilidade, a computação em nuvem é a solução favorita. Os dispositivos IoT enviam os dados para a nuvem através de alguma das tecnologias de comunicação citadas anteriormente, dependendo dos requisitos da aplicação. Uma vez na nuvem, os dados coletados são analisados e processados através de ferramentas analíticas ou de algoritmos de inteligência artificial, extraindo-se as informações necessárias para aplicação. Essas informações podem ser disponibilizadas ao usuário final através de uma API (Interface de Programação de Aplicações) (NAVEEN; KOUNTE, 2019).

Embora a computação em nuvem seja eficiente em muitas aplicações de IoT, também apresenta alguns desafios. Algumas aplicações exigem a análise dos dados em tempo real e, portanto, precisam receber informações de forma imediata. No entanto, com os dados armazenados e processados na nuvem, há uma maior latência de rede, gerando um atraso na entrega da informação. Além disso, a computação em nuvem exige uma conexão robusta com a Internet, que muitas vezes está disponível apenas em regiões limitadas, inviabilizando seu uso em locais remotos. Outro grande desafio envolve a segurança e privacidade dos dados gerados pelos sensores, uma vez que esses dados passam por muitos componentes de rede e estão sujeitos a ataques de hackers (NAVEEN; KOUNTE, 2019).

2.3.5.2 *Edge Computing*

A computação em “borda” é semelhante à computação na nuvem, porém com maior eficiência no processamento e armazenamento dos dados mais próximos da fonte, reduzindo a largura de banda e a latência. Os dados gerados pelos sensores são enviados a um nó na borda da rede, onde são imediatamente processados e armazenados. Esse nó fica localizado próximo ao usuário final ou aos dispositivos IoT, reduzindo o tempo de resposta. É uma arquitetura que fornece uma alta segurança para os dados, pois são armazenados localmente (NAVEEN; KOUNTE, 2019).

No entanto, a edge computing também apresenta desafios. Dispositivos edge possuem capacidades de processamento e armazenamento limitadas, o que pode restringir a complexidade das análises realizadas localmente. O gerenciamento remoto dos dispositivos, assim como atualizações de software e hardware, também se torna complexo e exigem uma infraestrutura de suporte robusta (NAVEEN; KOUNTE, 2019).

De acordo com Naveen e Kounte (2019), cada forma de gerenciamento de dados oferece suas vantagens e desvantagens. A computação em nuvem é amplamente usada em muitas aplicações, oferecendo diversos serviços independentemente da quantidade de dados gerados e com alto poder de processamento. Já a computação em borda oferece serviços limitados, mas é a melhor opção para aplicações em tempo real.

2.3.5.3 *Big Data*

Dispositivos e sensores IoT geram volumes enormes de dados. Essa quantidade de dados está se expandindo muito rapidamente com o tempo, resultando no chamado Big Data. As tecnologias de Big Data fornecem capacidades de mineração de dados distribuídos para extrair insights valiosos de um grande conjunto de dados. Através do Big Data, é possível obter uma melhor precisão dos dados, fazer melhores previsões para tomadas de decisões e extrair resultados analíticos mais aprofundados (NAGHIB *et al.*, 2023).

O Big Data apresenta alguns desafios para os dispositivos IoT. A coleta e o processamento dessa grande quantidade de dados sobrecarregam os dispositivos, que apresentam restrições, como vida útil limitada da bateria e capacidades reduzidas de processamento e armazenamento. Além disso, a transferência dos dados coletados também impõe uma sobrecarga, já que os protocolos de comunicação devem garantir a entrega dos dados rapidamente e dentro do prazo, enfrentando desafios como interoperabilidade, largura de banda, segurança e outros. Essas questões mencionadas acabam tornando difícil a obtenção dos dados completos e precisos sem comprometer a qualidade (NAGHIB *et al.*, 2023).

A análise do Big Data também enfrenta desafios significativos. Os dois principais desafios estão na gestão e armazenamento da enorme quantidade de dados, uma vez que os dispositivos de armazenamento têm capacidade limitada e precisam lidar com o crescimento constante dos dados sem comprometer o tempo de acesso e a taxa de transferência. Além disso, a complexidade e diversidade de dados dificultam ainda mais a análise, tornando as técnicas de computação tradicionais ineficientes. A segurança de Big Data e a preservação de dados confidenciais também são preocupações importantes. Na análise, muitos dados são correlacionados para se extrair padrões, e, portanto, a segurança e privacidade devem ser melhoradas através de técnicas de autenticação, autorização e criptografia (ASHABI; SAHIBUDDIN; HAGHIGHI, 2020).

Técnicas de machine learning são muito úteis na análise de Big Data. O deep learning é um modelo moderno de machine learning que apresenta um melhor desempenho ao lidar com grandes volumes de dados em comparação com as técnicas de mineração tradicionais (ZHONG *et al.*, 2022). Utilizando-se deep learning, é possível acelerar a tomada de decisões e reconhecimento de padrões em Big Data,

assim como melhorar o nível de qualidade das informações extraídas, resolver problemas de segurança, dimensionalidade dos dados e auxiliar no processamento de Big Data (NAGHIB *et al.*, 2023).

Uma nova técnica de aprendizado de máquina distribuído, o federated learning, surgiu para garantir a privacidade e a segurança dos dados em aplicações de IoT. No machine learning tradicional, todos os dados são transmitidos para um servidor central para o treinamento e processamento. Já no federated learning, os dispositivos individuais realizam seu próprio treinamento com conjuntos de dados locais. Os parâmetros são então enviados a um servidor central, onde ocorre a fusão do modelo, em seguida, o modelo agregado é redistribuído aos dispositivos individuais para continuar o aprendizado. Apenas os parâmetros locais são compartilhados, dessa forma, os dados brutos locais permanecem em cada dispositivo, preservando a sua segurança e privacidade (WANG; YE; SAKURAI, 2022). O federated learning pode ser utilizado em diversos setores, na área da saúde, por exemplo, essa ferramenta possibilita a criação de modelos preditivos utilizando os dados de pacientes vindos de diferentes hospitais, e ao mesmo tempo não compromete a privacidade desses pacientes (AWAN *et al.*, 2023).

Este capítulo abordou os fundamentos e tecnologias principais que sustentam a IoT, desde tecnologias de comunicação até a gestão de dados. No próximo capítulo, serão exploradas as aplicações práticas da IoT na saúde doméstica, focando em estudos de caso específicos.

3 APLICAÇÕES DE IOT NA SAÚDE DOMÉSTICA

Este capítulo discute algumas aplicações da IoT na saúde doméstica. Inicialmente, são apresentados os dispositivos tipicamente utilizados para o monitoramento de sinais vitais. Em seguida, são discutidos três estudos de caso focados no monitoramento de sinais vitais, seguidos por dois estudos que abordam o monitoramento de quedas. Também é explorado um estudo de caso sobre a gestão de medicamentos. Por fim, são apresentados mais dois estudos de caso que demonstram como a IoT pode ajudar na gestão da asma e no monitoramento de pessoas com doenças cognitivas.

3.1 MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS

Na área da saúde, identificar e diagnosticar doenças em estágios iniciais é crucial para melhorar o prognóstico e aumentar as taxas de sobrevivência. O monitoramento dos sinais vitais é fundamental para a detecção precoce de doenças. A IoT tem contribuído com o desenvolvimento de sistemas portáteis e vestíveis de baixo custo, permitindo que as pessoas façam esse monitoramento em casa. Nesta seção, serão apresentados os principais dispositivos utilizados para o monitoramento dos sinais vitais e alguns estudos de caso de aplicações.

3.1.1 Dispositivos e Tecnologias Utilizadas

3.1.1.1 *Medidores de Frequência Cardíaca*

Monitorar o ritmo cardíaco para identificar anomalias é fundamental para o diagnóstico precoce e a gestão de doenças cardiovasculares (XUE; WANG; XU, 2024). A frequência cardíaca (FC) pode ser medida através de diferentes tipos de sensores. Uma das técnicas mais utilizadas é a fotopletismografia (PPG), que é um método não invasivo que mede mudanças no volume sanguíneo através de diodos e fotodiodos. Um conjunto de LEDs é usado para emitir luz, a qual é parcialmente absorvida e parcialmente refletida pelos tecidos. Um fotodiodo é utilizado para detectar a luz refletida. Quanto maior o volume de sangue, quando ocorre um

batimento cardíaco por exemplo, menos luz é refletida, já que o sangue absorve a luz. Dessa forma, é possível traçar o sinal de luz absorvida em função do tempo para se determinar a frequência cardíaca (GOHLKE *et al.*, 2020).

Existem dois tipos principais de dispositivos PPG disponíveis comercialmente que são os Smartwatches e os cliques de dedo. Os Smartwatches geralmente utilizam LEDs com luz verde, enquanto os cliques costumam utilizar LEDs vermelhos. A luz verde não consegue penetrar profundamente no tecido afim de alcançar as artérias mais calibrosas, dessa forma, a medição da pulsação é feita diretamente sobre a pele, através da luz refletida pelos vasos capilares. Portanto os sinais obtidos através da reflexão da luz verde são mais fracos e contém menos informações. A luz vermelha, por ter maior comprimento de onda, é capaz de penetrar profundamente nos tecidos até atingir as artérias onde o sinal de pulso principal é detectado. Porém, apesar de ser um sinal mais forte e com mais informações, por penetrar mais profundamente nos tecidos biológicos, a luz vermelha está mais sujeita a artefatos de movimento, necessitando de um melhor processamento do sinal (GOHLKE *et al.*, 2020). Portanto, dependendo do contexto de uso e da necessidade de precisão, se utiliza um dos dois dispositivos, equilibrando suas vantagens e desvantagens.

3.1.1.2 *Monitores Contínuos de Glicose*

O monitoramento contínuo da glicose é de suma importância para pessoas que sofrem de diabetes, já que concentrações elevadas ou muito baixas de glicose no sangue podem trazer inúmeros danos à saúde.

Os Monitores contínuos de Glicose (CGM) são dispositivos que contém um sensor enzimático que fica geralmente implantado no braço do usuário. Esse sensor mede continuamente o nível de glicose presente no líquido intersticial, que é o fluido que preenche os espaços entre as células do corpo. Através desta medição, o dispositivo é capaz de estimar o nível de glicose no sangue do indivíduo. Os sensores então enviam os dados através de um transmissor utilizando alguma tecnologia de comunicação sem fio para a visualização em algum dispositivo, como um smartphone, por exemplo (ALABDULKARIM, 2022).

Existem dois tipos de CGM: O CGM intermitente e o CGM em tempo real. No sistema intermitente, os pacientes escaneiam o transmissor utilizando algum dispositivo inteligente. Já no CGM em tempo real, os dados são transferidos

automaticamente para o dispositivo inteligente, fornecendo alertas para situações de hiper ou hipoglicemia (ALABDULKARIM, 2022).

A maioria dos medidores de glicose é invasiva, porém, o desenvolvimento de medidores não invasivos se tornou um foco para pesquisadores e fabricantes de dispositivos médicos. Algumas das principais técnicas para a medição da glicose de forma não invasiva incluem a Espectroscopia de Luz Raman, que utiliza uma fonte de luz para excitar as moléculas na pele e, em seguida, analisa a dispersão da luz para identificar a concentração de glicose; os Sensores de Fluorescência, que utilizam fluoróforos sensíveis à glicose, emitindo luz fluorescente na presença de moléculas de glicose, onde a intensidade da luz emitida é usada para determinar os níveis de glicose; e a Espectroscopia de bioimpedância, que mede a impedância dos tecidos à corrente elétrica, permitindo correlacionar variações na impedância com os níveis de glicose presente no fluido intersticial (IRFANI; KOESOEMA, 2023). No entanto, é importante ressaltar que essas tecnologias não invasivas ainda estão, em grande parte, em fase de pesquisa e desenvolvimento, e a forma mais utilizada de monitorar a glicose continua sendo através de monitores invasivos.

3.1.1.3 Medidores de Pressão Arterial

A hipertensão arterial é um problema de saúde global e a medição frequente desse sinal vital é muito importante para avaliar a saúde do paciente e auxiliar na tomada de decisões médicas. Devido à importância de manter os níveis de pressão arterial (PA) regulados e aos indicativos que ela nos fornece, a aferição da PA é o teste de saúde mais realizado (JILEK; STORK, 2022). Com a popularização desse equipamento, a medição da PA tem sido cada vez mais feita em casa, proporcionando informações importantes para o paciente e para o médico (JILEK; STORK, 2022).

Os medidores de PA que são recomendados pelos especialistas são os que utilizam a braçadeira de braço. Apesar de muito populares, os medidores de PA de pulso não são tão recomendados, devido às suas medições incorretas quando não posicionados corretamente no nível do coração (JILEK; STORK, 2022). A maioria dos medidores de pressão arterial atualmente possui memória para o armazenamento de informações, como a PA e a FC medidas. Alguns equipamentos mais recentes têm conexões via Bluetooth e são capazes de enviar os valores medidos para

smartphones. Através de um aplicativo apropriado, esses valores podem ser enviados via Internet para um médico ou uma instituição de saúde (JILEK; STORK, 2022).

O princípio de funcionamento de um monitor de pressão arterial doméstico é semelhante ao de um monitor profissional utilizado em ambiente hospitalar. O monitor contém uma braçadeira inflável que é envolvida ao redor do braço e conectada através de um tubo de ar a um sensor de pressão. Uma bomba de ar automática infla a braçadeira e, em seguida, a pressão exercida sobre o braço do usuário é transmitida ao sensor. O valor obtido é então digitalizado e processado pelo circuito eletrônico do medidor para calcular a pressão arterial (JILEK; STORK, 2022).

Diversos novos dispositivos surgiram recentemente, utilizando técnicas que não envolvem o uso de braçadeiras. No entanto, essas técnicas não são recomendadas para o monitoramento doméstico da PA, já que não possuem a mesma precisão (JILEK; STORK, 2022). Uma técnica recente e muito promissora é baseada no parâmetro Pulse Transit Time (PTT), que é inversamente proporcional à PA e pode ser extraído analisando-se dois sinais cardiovasculares, como o eletrocardiograma (ECG) e o PPG (KOÇAK *et al.*, 2023).

3.1.1.4 *Medidores de Saturação de Oxigênio*

A saturação de oxigênio (SpO₂) é um sinal vital extremamente importante, essencial para avaliar o funcionamento do sistema respiratório. A medição da SpO₂ indica a quantidade de oxigênio que está sendo transportado pela hemoglobina, a principal transportadora desse gás no sangue. Quando o corpo humano não recebe quantidades suficientes de oxigênio, os órgãos vitais podem sofrer danos irreversíveis, o que pode levar a complicações graves e até à morte. Manter níveis adequados de SpO₂ é fundamental para garantir a saúde de uma pessoa, e, por esse motivo, seu monitoramento contínuo é tão importante (SINGH; THIYAGARAJAN; P, 2022).

Para a leitura contínua de SpO₂, a técnica mais amplamente utilizada é a oximetria de pulso, que usa luz nos espectros vermelho e infravermelho, pois a hemoglobina tem uma maior capacidade de absorção nesses comprimentos de onda. Os sensores de oximetria podem ser classificados em dois tipos: transmissão e reflexão. Os sensores do tipo transmissão são compostos por um emissor e um detector de luz, onde o emissor e o detector ficam em lados opostos do dedo, por exemplo. O detector mede a luz que atravessa o dedo para determinar a SpO₂. Os

sensores do tipo reflexão contêm o emissor e o detector no mesmo lado do dedo, e o detector mede a luz refletida para calcular a SpO₂ (SINGH; THIYAGARAJAN; P, 2022).

Os oxímetros de pulso também costumam determinar a frequência cardíaca, já que o mesmo princípio de medição é utilizado para ambos os sinais vitais. Após calculados, os valores de SpO₂ são exibidos em um display no dispositivo de oximetria, e os dados podem também ser enviados em tempo real através de Bluetooth ou Wi-Fi para a nuvem, permitindo o monitoramento remoto. Diversas ferramentas podem ser utilizadas para interpretar os dados e gerar alarmes em caso de valores fora do padrão (SINGH; THIYAGARAJAN; P, 2022).

3.1.1.5 Termômetros Conectados

A temperatura do corpo humano é capaz de indicar diversos problemas de saúde e a flutuação desse sinal vital pode ser um sinal de infecções, traumas e outras doenças (PANDA *et al.*, 2024). Por conta dessas informações todas fornecidas pela temperatura do corpo humano, surge a importância do seu monitoramento contínuo. O método tradicional de se medir a temperatura consiste no uso de um termômetro que é colocado nas axilas, boca, ouvido ou reto. Porém, essa técnica oferece desconforto aos pacientes, riscos de infecções e consome um tempo precioso dos profissionais de saúde (PANDA *et al.*, 2024).

Com o avanço da IoT, novas técnicas de medição da temperatura foram desenvolvidas. Uma das técnicas modernas consiste em um dispositivo auricular, contendo um sensor infravermelho, o qual é colocado na membrana timpânica e fornece medições da temperatura corporal central de maneira contínua (PANDA *et al.*, 2024). Outra técnica consiste no uso de um patch de pele flexível contendo um sensor de temperatura, capaz de enviar os valores medidos via Bluetooth a um smartphone e depois enviar os dados à nuvem (PATEL *et al.*, 2022). Uma técnica muito promissora para a medição de temperatura e outros sinais vitais é o uso de roupas inteligentes contendo sensores diversos, como o sensor de infravermelho, possibilitando o monitoramento contínuo e a transferência dos dados via Bluetooth ou Wi-Fi para um smartphone e para a nuvem (YU *et al.*, 2023).

3.1.1.6 Monitores de Sinais Bioelétricos

São dispositivos que capturam sinais elétricos produzidos por sistemas biológicos, avaliando o estado de saúde do corpo humano. Os sinais bioelétricos humanos mais comuns incluem o Eletrocardiograma (ECG), o Eletroencefalograma (EEG), o Eletromiograma (EMG) e o Eletrooculograma (EOG) (SHEN *et al.*, 2023). Esses sinais são obtidos através de eletrodos de superfície ou eletrodos implantados (ASANZA *et al.*, 2022).

- 1) ECG: Utilizado para monitorar a atividade elétrica do coração enquanto ele se contrai e relaxa. Ele é capaz de determinar a frequência cardíaca e examinar o ritmo dos batimentos cardíacos. Além disso, pode reconhecer emoções e diagnosticar doenças cardíacas, como infartos, arritmias e outros problemas do coração (SHEN *et al.*, 2023).
- 2) EEG: Sinal bioelétrico gerado a partir da atividade do cérebro humano (ZHANG; ZHANG, 2009). O EEG fornece uma grande quantidade de informações elétricas relacionadas à atividade cerebral e é utilizado em diversas aplicações, como o diagnóstico de doenças cerebrais, terapias complementares, processos cognitivos, reabilitações e aplicações militares (XU; WANG, 2021).
- 3) EMG: Utilizado para registrar os sinais elétricos gerados pelas atividades musculares. Os sinais de EMG são subdivididos em nEMG, que utiliza eletrodos inseridos através de agulhas no músculo, e sEMG, que utiliza eletrodos sobre a superfície da pele. O EMG é empregado para avaliar a saúde e o desempenho muscular, podendo diagnosticar doenças neuromusculares, monitorar a atividade muscular e prever a fadiga em esportes (SHEN *et al.*, 2023).
- 4) EOG: Técnica utilizada para detectar movimentos dos olhos, através da medição da variação da diferença de potencial entre a retina e a córnea (ASANZA *et al.*, 2022). É utilizada para o diagnóstico de doenças oculares, neurológicas, distúrbios do sono e também como uma tecnologia assistiva (LOPEZ *et al.*, 2016).

3.1.2 Estudo de Caso: Design and development of a cost-effective portable IoT enabled multi-channel physiological signal monitoring system

3.1.2.1 Introdução ao Estudo de Caso

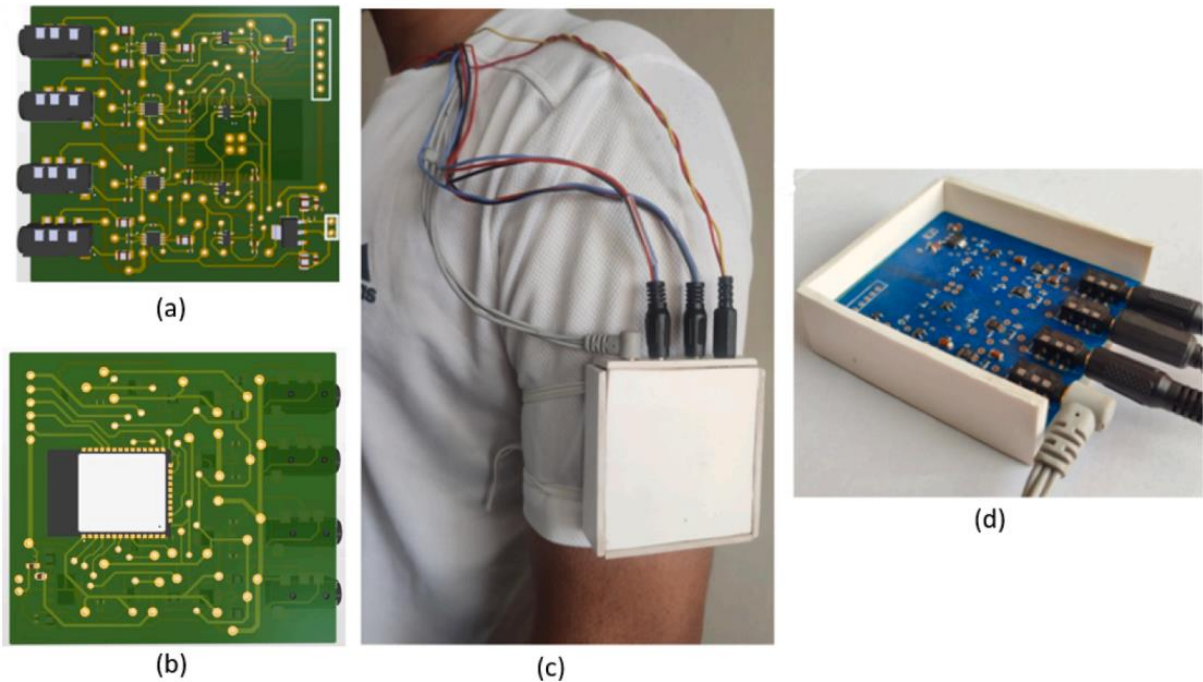
Neste estudo de caso, vamos discutir e analisar um sistema portátil e de baixo custo para o monitoramento de sinais fisiológicos multicanal, habilitado para IoT. O sistema, proposto por Hasan, Pantha e Arafat (2024), faz a captura e o monitoramento contínuo dos sinais fisiológicos de ECG, EEG, EMG e EOG.

3.1.2.2 Descrição do Sistema

O sistema desenvolvido pode ser visto na Figura 3. Ele é dividido em três subsistemas principais:

- 1) Unidade de Front-End Analógica (AFE): É feita a aquisição, amplificação e filtragem dos sinais fisiológicos.
- 2) Unidade de Controle: Responsável pela amostragem dos dados, processamento e transmissão sem fio.
- 3) Unidade de interface: Visualização, análise e armazenamento dos dados localmente ou na nuvem.

Figura 3: (a)-(b): Layout da placa desenvolvida (c): Placa posicionada no braço (d): Encapsulamento da placa



Fonte: Hasan, Pantha e Arafat (2024)

Uma placa de circuito impresso foi projetada, contendo a Unidade de AFE e a Unidade de Controle. Após a aquisição, amplificação e filtragem, o sinal analógico é convertido em digital através do Conversor Analógico-Digital de 12 bits do ESP-wroom. Os dados são amostrados em taxas personalizadas de 1 Hz a 256 KHz e transmitidos sem fio via BLE ou Wi-Fi para um smartphone ou notebook, podendo ser visualizados quase em tempo real através de um navegador web. Os dados podem ser armazenados localmente e também na nuvem através do protocolo MQTT.

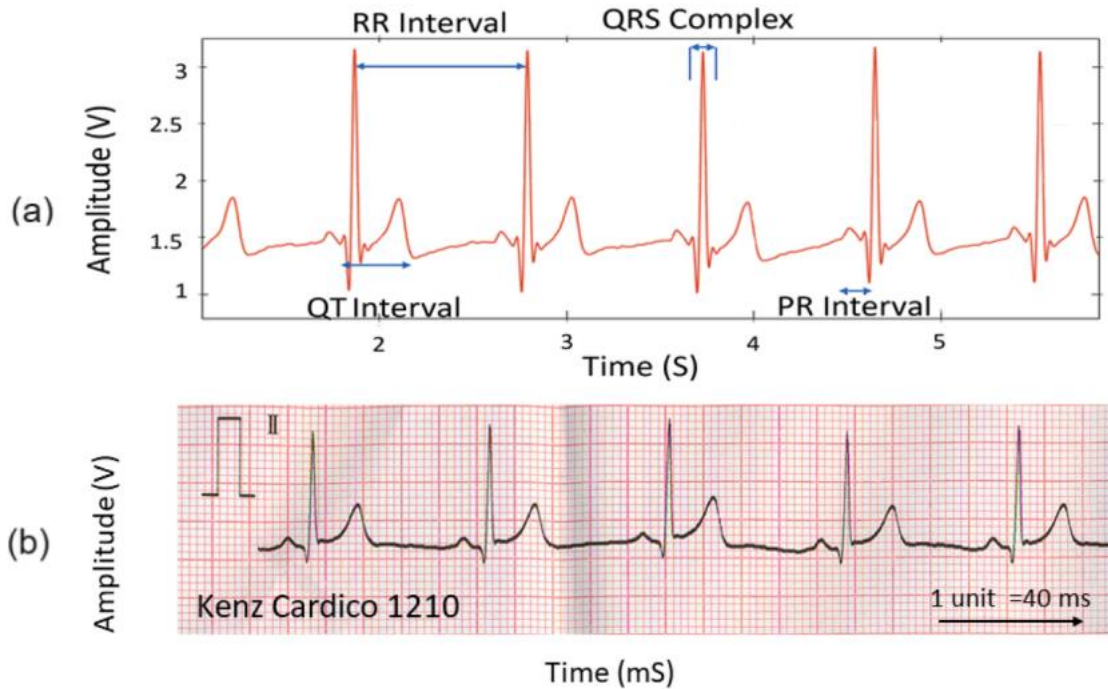
3.1.2.3 Resultados

Os autores inicialmente mediram a derivação II do ECG de um paciente utilizando o sistema desenvolvido e compararam com o sinal do ECG adquirido através de um equipamento comercial certificado, o Kenz Cardico 1210. A Figura 7 mostra os dois sinais obtidos, o primeiro pelo dispositivo projetado e o segundo pelo dispositivo comercial. É possível verificar que as formas de onda dos dois sinais são muito semelhantes.

Além do ECG, os autores adquiriram sinais de EEG de um paciente durante o apertar dos dentes e ao manter seus olhos abertos ou fechados, sinais de EMG ao

abrir e fechar as mãos, e sinais de EOG enquanto o paciente olhava para diferentes posições sem deslocar a cabeça.

Figura 4: Sinais de ECG adquiridos por: (a): Dispositivo desenvolvido (b): Dispositivo comercial (Kenz Cardico 1210)



Fonte: Hasan, Pantha e Arafat (2024)

3.1.2.4 Discussão e Trabalhos Futuros

O artigo apresentou comparações entre o sinal de ECG obtido através do equipamento desenvolvido e através do equipamento comercial, porém ficou faltando comparar os outros sinais fisiológicos com sinais adquiridos através de equipamentos comerciais. Para desenvolvimentos futuros, o tamanho do dispositivo poderia ser reduzido utilizando-se uma PCB de quatro camadas. Além disso, outros sensores poderiam ser adicionados para monitorar sinais vitais como SpO₂, temperatura e glicose. Algoritmos de IA também poderiam ser incorporados para a detecção precoce de doenças. Ensaios clínicos poderiam ser realizados para validar a eficácia do sistema. Por fim, protocolos avançados de criptografia poderiam ser adicionados para garantir a segurança dos dados.

3.1.3 Estudo de Caso: Design and Implementation of an Interoperable IoT Based Health Monitoring System for Diabetes

3.1.3.1 Introdução ao Estudo de Caso

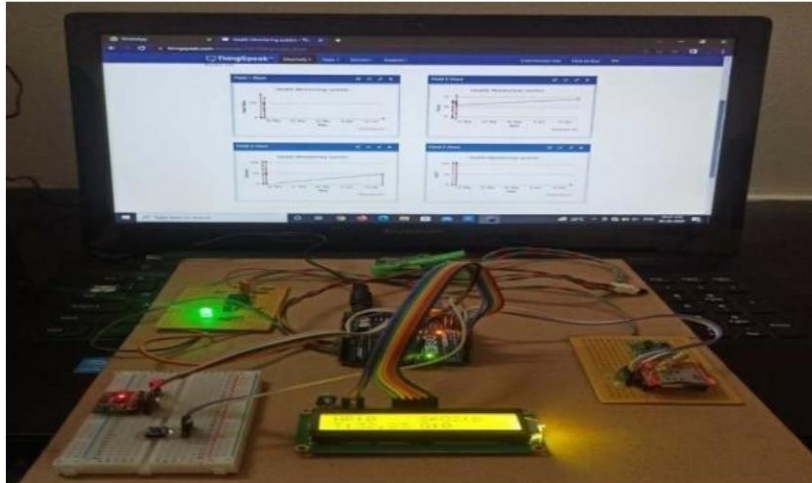
O artigo "Design and Implementation of an Interoperable IoT Based Health Monitoring System for Diabetes" de Bollimuntha e Murugan (2023) apresenta um sistema de monitoramento de saúde baseado em IoT para pacientes diabéticos. O sistema oferece uma solução de baixo custo e eficiente, utilizando o microcontrolador Arduino UNO para o monitoramento de alguns parâmetros vitais, como glicose no sangue, frequência cardíaca, saturação de oxigênio (SpO₂) e temperatura corporal.

3.1.3.2 Descrição do Sistema

O sistema proposto pode ser visto na Figura 5, e é constituído pelos seguintes componentes principais:

- **Arduino UNO:** Placa microcontroladora que é o núcleo do sistema.
- **Sensor de Infravermelho (IR):** Mede os níveis de glicose no sangue através da técnica de Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR), combinando LEDs de luz vermelha e infravermelha. Este método é uma variação dos não invasivos citados na subseção 3.1.1.2.
- **Sensor de Temperatura (LM35):** Mede a temperatura corporal.
- **Sensor de Frequência Cardíaca e Saturação de Oxigênio (MAX30100):** Mede a frequência cardíaca e os níveis de SpO₂.
- **Módulo GSM:** Envia os dados coletados para a nuvem e outros dispositivos.
- **ThingSpeak:** Plataforma de IoT utilizada para armazenar e visualizar os dados coletados. Suporta integração com dispositivos via API (MATHWORKS, 2024).

Figura 5: Sistema de monitoramento de saúde proposto para diabéticos



Fonte: Bollimuntha e Murugan (2023)

3.1.3.3 *Resultados*

Os autores fizeram medições dos parâmetros vitais de 25 pessoas e relacionaram em uma tabela. Os sensores integrados no sistema fizeram as medições, os dados foram processados pelo Arduino UNO, exibidos no monitor LCD e, por fim, enviados ao ThingSpeak através do módulo GSM. Os valores medidos foram disponibilizados em gráficos no ThingSpeak, onde cada gráfico apresenta um parâmetro diferente. Um exemplo de mensagem enviada por SMS também foi apresentado, contendo os parâmetros biomédicos de um paciente.

3.1.3.4 *Discussão e Trabalhos Futuros*

O artigo apresenta um sistema que integra múltiplos sensores, permitindo um monitoramento abrangente e contínuo dos parâmetros vitais dos pacientes. Entretanto, existem alguns pontos em aberto que podem ser melhorados em trabalhos futuros. Embora o sistema tenha apresentado bons resultados, a precisão de alguns sensores, como o de glicose, precisa ser melhorada. Além disso, outros sensores também poderiam ser adicionados ao sistema para o monitoramento de mais parâmetros vitais. Protocolos de segurança mais robustos devem ser implementados para proteger a privacidade dos pacientes. A inclusão da funcionalidade de interação direta entre médicos e pacientes também seria interessante. Por fim, sugere-se a utilização de algoritmos de machine learning para realizar análises preditivas,

prevendo eventos críticos como hipoglicemia ou hipóxia antes que ocorram, assim como para diagnosticar doenças automaticamente através da análise dos dados vitais em tempo real.

3.1.4 Estudo de Caso: Remote Health Monitoring System for the Estimation of Blood Pressure, Heart Rate, and Blood Oxygen Saturation Level

3.1.4.1 Introdução ao Estudo de Caso

O Estudo de caso aborda o artigo escrito por Nwibor et al. (2023), onde os autores desenvolveram um sistema inovador para o monitoramento remoto e de baixo custo da PA, FC e SpO₂. O sistema inclui um estojo para o dedo impresso em 3D, equipado com sensores que coletam dados de forma não invasiva e sem a necessidade de braçadeira, e uma placa Arduino MKR WIFI 1010, que é utilizada para o processamento dos dados e sua transmissão para a plataforma ThingSpeak.

3.1.4.2 Descrição do Sistema

O sistema de monitoramento desenvolvido consiste nos seguintes componentes principais:

- Sensor biomédico: Utiliza um sensor de PPG contendo LEDs vermelho e infravermelho, e um circuito de condicionamento de sinal embutido.
- Microcontrolador: O Arduino MKR WIFI 1010 é utilizado para o processamento e transmissão dos dados coletados.
- Tela Oled de 0,91 polegadas: Exibe os dados medidos em tempo real.
- ThingSpeak: Os dados são transmitidos para a plataforma ThingSpeak, onde são armazenados e analisados remotamente.

O monitor pode ser visto na Figura 6.

Figura 6: Monitor desenvolvido, encapsulado em um case 3D, com um display OLED de 0,91” para ser utilizado no dedo do usuário



Fonte: Nwibor et al. (2023)

Para estimar os valores da PA, o sistema utiliza um algoritmo para detectar os picos máximo e mínimo do sinal de PPG, os quais são correlacionados à PA sistólica e diastólica, respectivamente. A estimativa da SpO2 é obtida através da razão entre a luz vermelha e a luz infravermelha absorvidas. Os dados processados são então enviados ao ThingSpeak via Wi-Fi.

3.1.4.3 Resultados

O sistema foi testado em 20 voluntários, onde foram feitas medições no dedo indicador direito. Também foram feitas medições dos parâmetros vitais através de dispositivos comerciais para validação:

- 1) PA: Foi medida através do sistema desenvolvido e comparada com o valor obtido através de um monitor de PA ambulatorial Contec, obtendo uma correlação de 97%.
- 2) SpO2: Os valores obtidos da SpO2 foram comparados com os valores medidos através de um oxímetro de pulso Braun. Obteve-se uma correlação de 83%.
- 3) FC: Os valores de FC também foram comparados com o monitor de oximetria de pulso Braun, mostrando uma correlação de 94%.

Os dados obtidos foram enviados ao ThingSpeak, onde foram armazenados e visualizados através de gráficos em tempo real.

3.1.4.4 *Discussão e Trabalhos Futuros*

Os autores desenvolveram um sistema com monitoramento contínuo e remoto de sinais vitais, através de um dispositivo vestível compacto e de baixo custo. Entretanto, o dispositivo também enfrenta alguns desafios, como a precisão das medições em condições variadas e a segurança e privacidade dos dados gerados. Trabalhos futuros poderiam se concentrar em:

- Validação clínica abrangente: Estudos clínicos poderiam ser realizados com pacientes com diferentes condições de saúde, como hipoxemia e hipertensão.
- Testes em diferentes situações: Os testes podem ser feitos em outras situações, como caminhando, correndo, dormindo ou durante outras atividades.
- Integração com outros dispositivos: O sistema pode se interligar a outros dispositivos, formando um ecossistema de monitoramento de sinais vitais.
- Segurança: Implementar técnicas de criptografia para a privacidade e segurança das informações dos pacientes.

3.2 MONITORAMENTO DE QUEDAS

Monitorar e prever quedas são aplicações que podem melhorar significativamente a qualidade e a expectativa de vida, especialmente entre os idosos. Estudos indicam que, anualmente, 30% dos idosos com mais de 65 anos e 50% dos que tem mais de 81 anos sofrem quedas. Essas quedas podem resultar em consequências graves, como fraturas ósseas e traumatismos cranianos (KULURKAR *et al.*, 2023). Por conta da alta incidência e a gravidade das consequências das quedas, o monitoramento se torna crucial para evitá-las ou, ao menos, minimizar seus danos. Nesta seção serão explorados dois estudos de caso para estas aplicações.

3.2.1 Estudo de Caso: ICFY (I Care For You): An IOT Based Fall Detection and Monitoring Device using ESP32 - CAM and MPU 6050 Sensors

3.2.1.1 Introdução ao Estudo de Caso

O artigo escrito por Alejandro et al. (2023) aborda o desenvolvimento de um dispositivo vestível para o monitoramento de quedas, com foco no público idoso. O dispositivo tem como objetivo identificar quedas e fornecer assistência imediata, reduzindo os danos provocados pelas quedas. O estudo é de grande relevância e importância, já que as quedas na população idosa são muito comuns e podem causar graves prejuízos à saúde, podendo ser fatais em alguns casos.

3.2.1.2 Descrição do Sistema

O dispositivo vestível de pulso foi projetado para ser utilizado por idosos que moram sozinhos ou em casas de repouso. É composto pelos seguintes componentes principais:

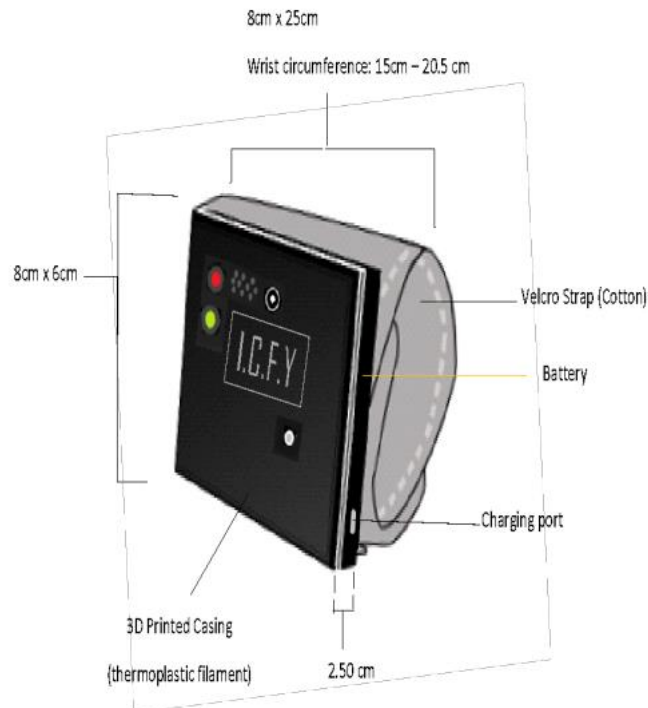
- ESP 32 CAM: Módulo capaz de tirar fotos após a detecção da queda.
- MPU 6050: Sensor que faz a detecção das quedas.
- Bateria de Lítio: Fornece energia para o funcionamento do dispositivo com uma duração de quatro a seis horas.
- Buzzer: Emite um alerta sonoro quando ocorre uma queda.
- LEDs: indicam o status do dispositivo.

O sistema proposto foi montado em uma PCB e encapsulado com uma caixa impressa em 3D, com as dimensões de 8 cm x 6 cm. A pulseira foi feita de silicone e algodão para garantir o conforto ao usuário. Para comunicar-se com o cuidador, o dispositivo se conecta à Internet utilizando Wi-Fi, sendo capaz de enviar alertas via SMS ao detectar uma queda, e dados como imagens e outras informações da queda através de um servidor web e API.

O dispositivo utiliza três parâmetros para identificar uma queda: aceleração, tempo e mudança de ângulo, sendo capaz de detectar quatro tipos de quedas: queda

para frente, queda para trás, queda para o lado esquerdo e queda para o lado direito. O protótipo do dispositivo pode ser visto na Figura 7.

Figura 7: Protótipo do dispositivo vestível para a detecção de quedas



Fonte: Alejandro et al. (2023)

3.2.1.3 Resultados

O dispositivo foi testado por um total de 25 pessoas, sendo 20 idosos e 5 profissionais do TI. Os resultados mostraram que o dispositivo conseguiu reconhecer quedas, registrar imagens do local da queda, emitir alarmes pelo buzzer e enviar mensagens de alerta via SMS aos cuidadores. O sistema foi considerado confortável e fácil de usar pelos usuários, e foi avaliado através do Modelo de Qualidade ISO 25010, sendo classificado como “Muito Bom”, obtendo uma média composta de 4.42.

3.2.1.4 Discussão e Trabalhos Futuros

Os autores demonstraram a eficácia do dispositivo, porém alguns pontos ficaram em aberto para serem melhorados futuramente:

- Tipos de Quedas Detectadas: Outros tipos de quedas poderiam ser detectados, como quedas enquanto se está sentado ou se levantando.

- Streaming de Vídeo: Além das fotos, o dispositivo poderia filmar a queda para mais detalhes.
- Registros Históricos: Logs históricos podem ser adicionados para permitir uma análise mais detalhada.
- Algoritmos de IA: Algoritmos de machine learning podem ser adicionados para maior precisão na detecção das quedas, reduzindo falsos positivos e aumentando a confiabilidade ao analisar padrões complexos de movimentos.
- Integração com Outros Dispositivos: Outros dispositivos IoT podem ser conectados para um sistema de monitoramento mais integrado.

3.2.2 Estudo de Caso: Fall Risk Prediction Using Wireless Sensor Insoles With Machine Learning

3.2.2.1 Introdução ao Estudo de Caso

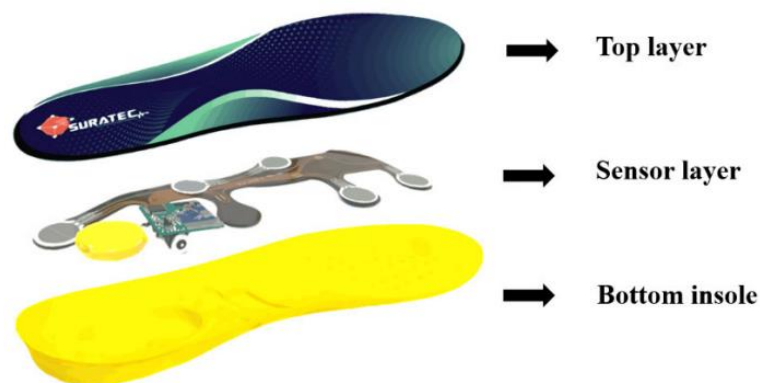
Sistemas de monitoramento de quedas existentes geralmente notificam apenas após ocorrer a queda. Este estudo, desenvolvido por Agrawal et al. (2023), propõe um sistema que prevê o risco de quedas utilizando palmilhas inteligentes com sensores de pressão sem fio embutidos, aplicando diferentes modelos de machine learning, e comparando seus desempenhos na previsão do risco de quedas.

3.2.2.2 Metodologia

- Dispositivo utilizado: Foi utilizada uma palmilha inteligente que contém cinco sensores de pressão embutidos. A palmilha pode ser vista na Figura 8.
- Participantes: 1101 voluntários (341 homens e 760 mulheres) com idade acima de 65 anos.
- Coleta de Dados: Foi solicitado que o paciente caminhasse de um lado a outro por uma distância de dez metros para avaliar a distribuição de pressão nas palmilhas. As medições obtidas foram transmitidas em tempo real a um smartphone através de Bluetooth, e em seguida foram enviadas a um banco de dados para análises futuras.

- **Pré-Processamento dos Dados:** Após coletados, os dados dos sensores no início e no final de cada amostra foram cortados em 20% para eliminar as transições. Foram utilizadas 2202 amostras (duas para cada participante), mas foram removidas amostras com dados inválidos e ruído, restando 2070 amostras válidas.
- **Modelos de Machine Learning:** Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), Logistic Regression (LR), Naive Bayes (NB), Decision Tree (DT) e k-Nearest Neighbor (kNN).
- **Seleção de Características:** Foram selecionadas as cinco características mais relevantes para o conjunto de dados. Para rotular os dados, os participantes foram classificados como alto ou baixo risco de quedas. O conjunto de dados foi classificado então em quedas (500) e não-quedas (1570).
- **Tratamento do Desbalanceamento:** Como os dados são desbalanceados, 500 quedas vs. 1570 não quedas, foram utilizadas técnicas de subamostragem e superamostragem dos dados.

Figura 8: Palmilha Inteligente e as localizações dos sensores



Fonte: Agrawal et al. (2023)

3.2.2.3 Resultados

Os modelos de machine learning passaram por três experimentos diferentes: Sem reamostragem, com subamostragem e com superamostragem dos dados. O modelo LR com superamostragem foi o que apresentou a maior área sob a curva (AUC) de 0,82, enquanto o modelo RF com superamostragem alcançou a maior precisão de 0,81 e especificidade de 0,88. Como a AUC é o fator mais importante para

determinar o risco de queda, o modelo LR com superamostragem demonstrou ser o mais adequado para a aplicação.

3.2.2.4 *Discussão e Trabalhos Futuros*

Os resultados indicam que a utilização das palmilhas inteligentes, combinadas com os modelos de machine learning, fornece uma boa previsão de quedas. No entanto, alguns trabalhos futuros podem ser feitos para incrementar o sistema:

- Melhorias nos algoritmos: Modelos de deep learning, como redes neurais convolucionais (CNNs) e redes neurais recorrentes (RNNs), podem aumentar a precisão das previsões, capturando padrões complexos nas distribuições de pressão nas palmilhas e nas sequências de dados de movimento.
- Sensores adicionais: Acelerômetros e giroscópios poderiam ser utilizados para complementar os dados.
- Aplicativos: Criar aplicativos móveis que além de alertar sobre riscos de quedas, também ofereçam recomendações de exercícios e melhorias na marcha.
- Validação em outros ambientes: O sistema pode ser validado em outros ambientes, como residências, clínicas de reabilitação e casas de repouso.

3.3 GESTÃO DE MEDICAMENTOS

Consumir medicamentos nos horários especificados é fundamental para o sucesso do tratamento médico. No entanto, idosos e pessoas com deficiências mentais e cognitivas frequentemente enfrentam dificuldades para seguir as orientações de uso (PEDDISSETTI *et al.*, 2024). Nesse contexto, aplicações na área de IoT têm surgido para melhorar a gestão de medicamentos. Nesta seção, abordaremos uma dessas aplicações.

3.3.1 Estudo de Caso: Smart Medication Management: Enhancing Medication Adherence with an IoT-Based Pill Dispenser and Smart Cup

3.3.1.1 Introdução ao Estudo de Caso

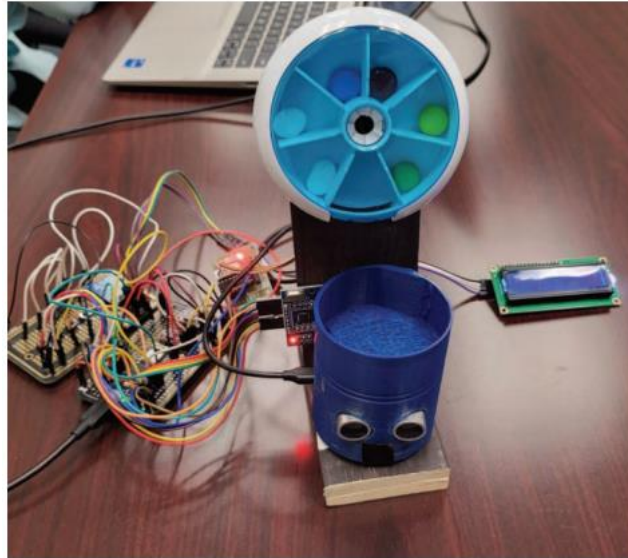
Neste estudo de caso, analisaremos o artigo que apresenta o conjunto de soluções de Peddisetti et al. (2024) para o gerenciamento inteligente de medicamentos. O sistema proposto pelos autores visa melhorar a adesão à medicação, englobando um Dispensador Inteligente de Pílulas, um Copo Inteligente e um Aplicativo Android para notificações em tempo real.

3.3.1.2 Descrição do Sistema

O sistema que aparece na Figura 4 é formado por três componentes principais:

- **Dispensador de Pílulas:** Dispensa os medicamentos nos horários programados e se comunica com o copo inteligente e o aplicativo Android. Utiliza o microcontrolador Arduino Nano RP2040 e um módulo BLE. Possui uma tela LCD e botões para configuração dos horários. Em seu núcleo, há um motor de passo que rotaciona um recipiente de pílulas contendo sete slots. Possui também um módulo RFID para verificar o posicionamento do copo.
- **Copo Inteligente:** Valida se o usuário consumiu os medicamentos dispensados. Também utiliza o microcontrolador Arduino Nano RP2040 e a tecnologia BLE. Contém um acelerômetro e um giroscópio para detectar a movimentação e o momento angular do copo. Possui ainda um sensor ultrassônico para identificar a proximidade do usuário após a dispersão das pílulas. Possui carregamento sem fio.
- **Aplicativo Android:** Recebe notificações do dispensador de pílulas nos horários programados e armazena logs de consumo dos medicamentos. Também notifica o usuário em caso de dose perdida e quando as pílulas no dispensador estão acabando.

Figura 9: Sistema contemplando o Dispensador de Pílulas e o Copo Inteligente



Fonte: Peddisetti et al. (2024)

3.3.1.3 Resultados

Os autores realizaram diversos testes que demonstraram a eficácia do sistema, garantindo que o usuário consuma corretamente os medicamentos, com notificações precisas e monitoramento em tempo real. O dispensador de pílulas funcionou corretamente nos horários programados, o copo inteligente detectou com precisão o consumo da medicação e o aplicativo Android integrou-se bem aos dispositivos.

3.3.1.4 Discussão e Trabalhos Futuros

O conjunto de soluções proposto por Peddisetti et al. (2024) é inovador e contribui para uma melhor administração do consumo de medicamentos. No entanto, alguns pontos podem ser melhorados:

- Quantidade de slots: A capacidade do dispensador de pílulas, que é de 7 compartimentos, pode ser aumentada para maior flexibilidade no tratamento.
- Quantidade de medicamentos por slot: O dispositivo poderia suportar mais de um medicamento por slot, permitindo o consumo simultâneo remédios.
- Sensores no copo: Outros sensores, como de peso e pressão, poderiam ser adicionados ao copo para garantir o consumo dos medicamentos.

- Implementação do Aplicativo: O aplicativo pode ser aprimorado para a configuração dos horários dos medicamentos no smartphone, conexão automática com o dispensador e uma compatibilidade com outros sistemas IoT.
- Histórico na nuvem: O armazenamento dos dados também pode ser feito em serviços de nuvem para o acesso do usuário em qualquer lugar.

3.4 MONITORAMENTO DE ASMA

A asma é uma condição crônica, atualmente sem cura, que afeta cerca de 300 milhões de pessoas em todo o mundo. Estima-se que aproximadamente 50% dos indivíduos asmáticos não sigam corretamente as orientações para o uso de medicamentos (DEVI R et al., 2023). A IoT tem introduzido aplicações inovadoras que podem auxiliar no tratamento e na gestão da asma. Nesta seção, será abordado um estudo de caso que explora uma dessas aplicações.

3.4.1 Estudo de Caso: Smart Asthma Inhaler with Smart Band

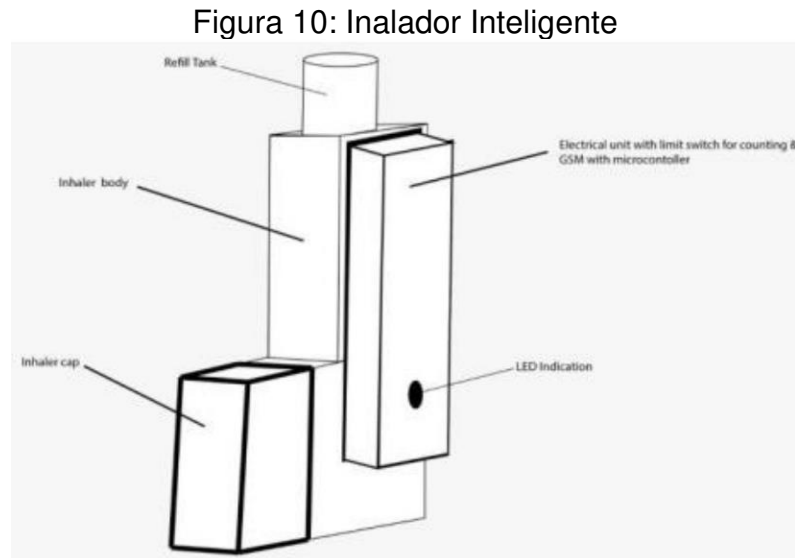
3.4.1.1 *Introdução ao Estudo de Caso*

Este estudo de caso aborda o desenvolvimento de um sistema para o monitoramento contínuo de asma composto por dois componentes principais, um inalador inteligente e uma pulseira inteligente. O sistema baseado em IoT foi criado por Devi R et al. (2023) e visa uma melhor gestão da doença.

3.4.1.2 *Descrição do Sistema*

- Inalador Inteligente: Consiste nos seguintes componentes:
 - 1) ESP8266: Gerencia todas as funções dos componentes conectados.
 - 2) Interruptor de limite: Faz a contagem do número de doses tomadas cada vez que o inalador é pressionado.
 - 3) Módulo GSM: Faz a transmissão dos dados para a nuvem.
 - 4) LED: Pisca para lembrar o paciente de tomar a próxima dose.
 - 5) Bateria de polímero de lítio: Alimenta o dispositivo e carrega por USB-C.

A Figura 10 mostra a estrutura do Inalador Inteligente.



Fonte: Devi R et al. (2023)

- **Pulseira Inteligente:** Consiste nos seguintes componentes:
 - 1) ESP32: Gerencia todas as funções da pulseira e transfere os dados medidos para a nuvem através de BLE.
 - 2) Sensor de qualidade do ar: Monitora o ambiente para detectar poluentes como fumaça, pólen e mofo.
 - 3) Sensor de temperatura e umidade: detectam níveis extremos que podem agravar a asma.
 - 4) Motor de Vibração: Vibra para lembrar o usuário de tomar a sua dose.
 - 5) Display OLED: Exibe os dados dos sensores.
 - 6) Bateria de polímero de lítio: Alimenta o dispositivo e carrega por USB-C.

3.4.1.3 Resultados

Os dados de ambos os dispositivos são coletados e transferidos para a nuvem para o monitoramento contínuo dos pacientes e podem ser acessados tanto pelo paciente quanto pelo médico utilizando o aplicativo desenvolvido. O aplicativo exibe a temperatura e umidade do ambiente, o índice de qualidade do ar e a quantidade de doses ingeridas. Através do app, o usuário também é capaz de configurar suas preferências quanto aos parâmetros medidos e a contagem de doses.

3.4.1.4 *Discussão e Trabalhos Futuros*

O sistema desenvolvido oferece vários benefícios para o manejo da asma, porém os seguintes pontos podem ser melhorados em trabalhos futuros:

- Tamanho dos dispositivos: Os dispositivos podem ser miniaturizados para um maior conforto aos pacientes.
- Integração dos dispositivos: O inalador pode ser integrado à pulseira, dispensando a necessidade de transportar dois dispositivos.
- Sensores: Outros sensores poderiam ser adicionados para o monitoramento de parâmetros vitais, como a Spo2 e a FC.
- IA: Implementar algoritmos de IA para analisar os dados coletados e prever crises de asma, oferecendo alertas e recomendações ao paciente.

3.5 MONITORAMENTO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIAS COGNITIVAS

A população mundial está envelhecendo cada vez mais, e a expectativa de vida continua aumentando. Como consequência, doenças relacionadas à idade, como déficits cognitivos e demências, estão se tornando mais comuns (GARCÍA-REQUEJO *et al.*, 2023). Para que essas pessoas possam viver de maneira independente por mais tempo, é fundamental desenvolver sistemas de monitoramento à distância. Nesta seção, será analisada uma aplicação de IoT que tem como foco melhorar a qualidade de vida e a segurança de indivíduos com déficits cognitivos.

3.5.1 **Estudo de Caso: Activity Monitoring and Location Sensory System for People With Mild Cognitive Impairments**

3.5.1.1 *Introdução ao Estudo de Caso*

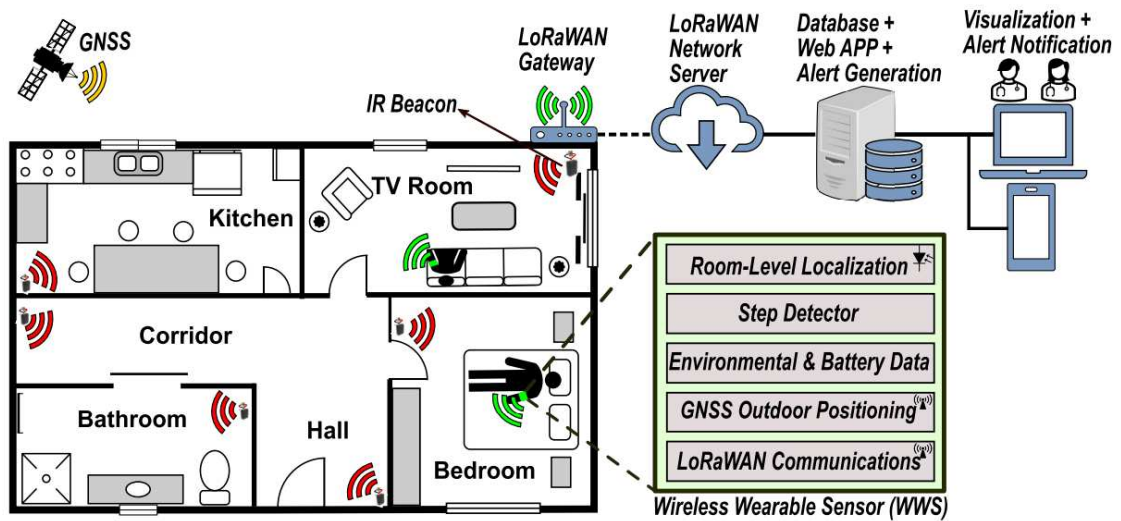
Este estudo de caso analisa o artigo escrito por García-Requejo *et al.* (2023), onde os autores apresentam seu sistema baseado em redes de sensores sem fio utilizando um dispositivo vestível para o monitoramento da localização e atividade de pessoas com comprometimento cognitivo leve ou demência em estágios iniciais, com a transmissão dos dados através de uma rede LoRaWAN.

3.5.1.2 *Descrição do Sistema*

O sistema é composto por um dispositivo vestível, um sistema de localização interna baseado em IR, um gateway LoRaWAN e serviços de aplicação. A Figura 11 mostra a arquitetura do sistema desenvolvido.

- **Dispositivo vestível:** Possui um receptor GNSS para o posicionamento ao ar livre do usuário e um receptor IR para a detecção dos beacons e o posicionamento no interior da residência. Contém também um acelerômetro para a detecção de passos e um sensor ambiental que mede temperatura, umidade e pressão atmosférica. Para a transmissão dos dados ao gateway, o dispositivo conta com um transceptor LoRa, que utiliza o protocolo LoRaWAN.
- **Sistema de localização interna:** Cada cômodo da residência possui um beacon emissor de IR, que emite um código único para identificar cada espaço interno.
- **Gateway:** Os dados coletados pelo dispositivo vestível são enviados ao gateway através do protocolo LoRaWAN na frequência de 868,9 MHz. O gateway então retransmite as mensagens recebidas para um servidor que opera sobre conexões IP.
- **Serviços de aplicação:** Os dados coletados pelo gateway são transmitidos ao servidor de rede, The Things Stack, o qual foi anexado a um broker MQTT. Os dados são então registrados em um banco de dados, onde podem ser acessados através da ferramenta de visualização Grafana. Mensagens de alerta são enviadas pelo Telegram ao cuidador caso o paciente esteja em alguma situação de risco, como a saída de uma área permitida.

Figura 11: Visão global do sistema desenvolvido



Fonte: García-Requejo et al. (2023)

3.5.1.3 Resultados

Os autores realizaram testes experimentais para avaliar a eficácia do sistema:

- **Localização interna:** Foram realizados testes em quatro cômodos diferentes (laboratório, banheiro, hall e corredor). A precisão média da localização interna variou de 85,56% a 96,52%, com erros principalmente durante a transição entre cômodos adjacentes.
- **Detecção de Passos:** Testes de detecção de passos foram feitos em uma variedade de situações, com o usuário utilizando o dispositivo no braço. O dispositivo demonstrou uma precisão de cerca de 90% em todas as situações.
- **Visualização dos Dados:** Diferentes painéis foram criados no Grafena para exibir os dados de localização, quantidade de passos acumulados e atividade. Quando o usuário percorre um trajeto inesperado, ou tem um comportamento suspeito, um alerta é enviado pelo Telegram ao cuidador.

3.5.1.4 Discussão e Trabalhos Futuros

O sistema de monitoramento proposto demonstra ser eficaz para a localização e monitoramento de pessoas com deficiências cognitivas, porém, alguns aspectos precisam ser aprimorados em trabalhos futuros:

- **Tamanho do dispositivo:** O dispositivo vestível pode ter seu tamanho reduzido para melhorar o conforto e aceitação dos usuários.

- Testes com múltiplos pacientes: Podem ser realizados testes com múltiplos usuários com déficit cognitivo vivendo em uma mesma residência para avaliar a robustez do sistema.
- Precisão da localização: O sistema apresentou falhas na localização interna da residência e também na localização externa. Para o interior, técnicas de filtragem podem ser aplicadas para solucionar o erro nas transições entre cômodos. Para o ambiente externo, antenas com maior ganho e sensibilidade podem ser adicionadas ao dispositivo vestível e também ao gateway.
- Machine Learning: Técnicas de machine learning poderiam detectar mudanças na rotina ou comportamento do idoso, indicando um possível declínio cognitivo. Através de aprendizado supervisionado, o sistema também poderia classificar situações como de risco ou seguras, com base na localização e movimentação do idoso.

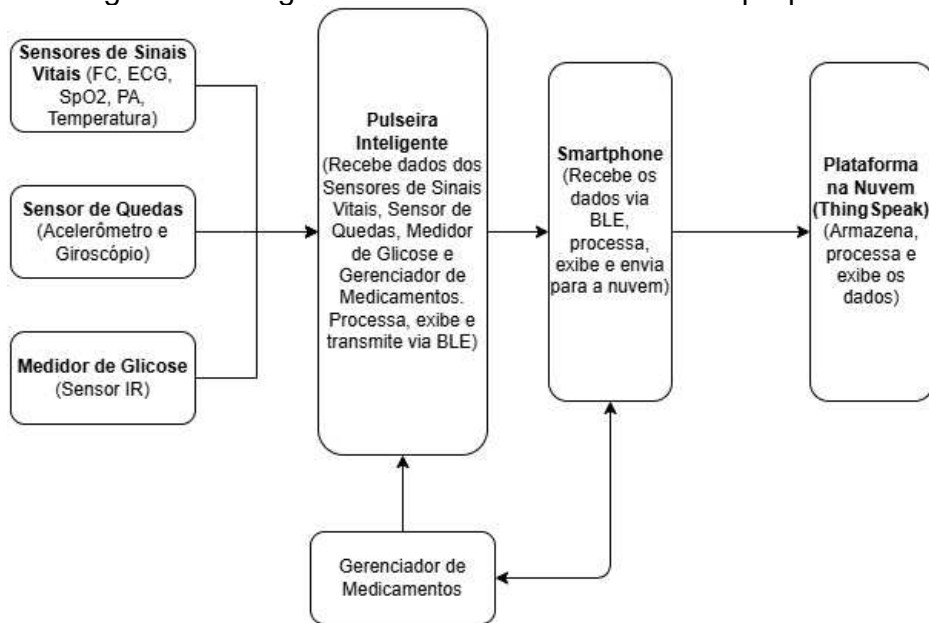
4 ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA IOT PARA O MONITORAMENTO DE IDOSOS

Com base na revisão do estado da arte e dos estudos de caso discutidos no Capítulo 3, neste capítulo será especificado um sistema IoT amplo para o monitoramento de idosos em suas próprias casas ou em lares de idosos. O objetivo do capítulo é especificar o sistema para uma eventual implementação futura.

4.1 ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema IoT proposto para o monitoramento de idosos é composto por vários subsistemas que interagem entre si para fornecer um monitoramento contínuo. A Figura 12 apresenta um diagrama de blocos da arquitetura do sistema.

Figura 12: Diagrama de blocos do sistema IoT proposto



Fonte: Autor

4.2 SUB-SISTEMAS E DISPOSITIVOS UTILIZADOS

4.2.1 Pulseira Inteligente

A pulseira inteligente é um dispositivo vestível capaz de monitorar diversos sinais vitais dos idosos, assim como detectar quedas. Ela será equipada com diversos sensores para medir diferentes parâmetros de saúde, tais como:

- Frequência Cardíaca: Medida através de um sensor de PPG. O modelo de sensor que será utilizado é o MAX30101, que possui LEDs verde, vermelho e infravermelho, além de um fotodetector (MAXIM INTEGRATED, 2020). O LED verde é a melhor escolha para a detecção da FC no pulso porque penetra na profundidade certa para alcançar os capilares superficiais.
- ECG: Será obtido através do sensor MAX30003. O sensor é altamente integrado e possui baixo consumo de energia, sendo ideal para aplicações vestíveis (ANALOG DEVICES, 2021).
- Saturação de Oxigênio: Também será obtida através do sensor MAX30101, utilizando os LEDs vermelho e infravermelho. Ele determina a SpO₂ pela razão entre a luz vermelha e a luz infravermelha absorvidas pelo sangue.
- Pressão Arterial: Estimada a partir do sinal de PPG que será extraído do MAX30101 e do sinal de ECG que será obtido do MAX30003. A técnica de PTT é aplicada para estimar a PA continuamente e de forma não invasiva.
- Temperatura Superficial: Será medida com o sensor de temperatura LM35, que deve ficar posicionado de forma a garantir o contato adequado com a pele para minimizar influências da temperatura ambiente (TEXAS INSTRUMENTS, 2024).
- Detecção de Quedas: Utilizará o sensor MPU-6050, que combina um acelerômetro de três eixos e um giroscópio de três eixos (INVENSENSE, 2013). Os dados dos sensores serão processados pelo microcontrolador para detectar padrões que indicam que uma queda ocorreu, enviando alertas para os cuidadores.

Para o processamento dos dados coletados, será utilizado o microcontrolador ESP32, que através da tecnologia BLE, fará a transferência dos dados para um smartphone, que posteriormente enviará os dados à nuvem. A visualização dos sinais vitais poderá ser feita na própria pulseira, através de uma tela OLED, no smartphone, através de um aplicativo próprio, ou então na nuvem, através da plataforma ThingSpeak.

4.2.2 Medidor de Glicose

A medição da glicose será realizada utilizando um medidor de glicose separado que mede os níveis de glicose e transmite os dados via BLE para a pulseira inteligente. Será utilizada a mesma técnica que foi descrita por Bollimuntha e Murugan (2023) para estimar os níveis de glicose de forma não invasiva, empregando a Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR). O sensor infravermelho determina o nível de glicose combinando LEDs infravermelho (940 nm) e vermelho (660 nm). Para o processamento dos dados e transmissão via BLE para a pulseira ou para um smartphone, será utilizado o microcontrolador ESP32. A visualização dos valores de glicose medidos poderá ser feita no display da pulseira, no aplicativo do smartphone ou na plataforma ThingSpeak.

4.2.3 Gerenciador de Medicamentos

Para o gerenciamento de medicamentos, será utilizado o sistema desenvolvido por Peddisetti et al. (2024), que será conectado à pulseira inteligente através de BLE para garantir que os idosos tomem seus medicamentos corretamente e no horário certo. O gerenciador de medicamentos possui as seguintes características:

- **Dispensação automática de medicamentos:** O dispositivo armazena e dispensa os medicamentos nos horários programados, garantindo que o usuário receba a dose nos horários corretos.
- **Conectividade:** O gerenciador de medicamentos se comunicará com a pulseira inteligente ou com um smartphone através de BLE.
- **Alerta ao Usuário:** O gerenciador de medicamentos emite alertas para lembrar os usuários de tomar seus comprimidos. Os alertas serão enviados à pulseira, ao smartphone e à plataforma na nuvem.
- **Registro de Adesão:** O dispositivo registra todos os comprimidos ingeridos, permitindo monitorar a adesão ao tratamento. Os registros são feitos no aplicativo próprio do smartphone e também são enviados à nuvem, podendo ser visualizados na plataforma ThingSpeak.

4.3 INTEGRAÇÃO COM IA E COMPUTAÇÃO NA NUVEM

Através da computação na nuvem e da utilização da IA, é possível fazer uma análise avançada e em tempo real dos dados de saúde dos idosos, permitindo rápidas intervenções. Utilizando essas tecnologias, podemos identificar padrões e prever possíveis problemas de saúde baseando-se no histórico do paciente.

4.3.1 Algoritmos de IA Utilizados

- **Detecção de Anomalias:** Os algoritmos analisarão continuamente os sinais vitais capturados, como FC, SpO2, PA e glicose. Ao identificar valores fora dos intervalos normais ou desvios significativos de padrões históricos, o sistema será capaz de enviar alertas, permitindo intervenções rápidas em situações de risco, como hipóxia ou bradicardia.
- **Previsão de Eventos:** Os modelos preditivos utilizarão dados históricos para antecipar eventos como episódios de hipoglicemia ou hiperglicemia. Por exemplo, ao detectar tendências de queda ou elevação nos níveis de glicose para valores fora dos limites considerados normais, o sistema enviará um alerta ao usuário ou cuidador antes que a alteração na glicemia se torne crítica.
- **Análise de Padrões:** O sistema analisará padrões nos dados de saúde ao longo do tempo, identificando anormalidades que possam indicar condições crônicas ou emergentes, como irregularidades no ritmo cardíaco ou oscilações na pressão arterial.
- **Recomendações Personalizadas:** Com base nos padrões identificados, os algoritmos gerarão sugestões personalizadas, como ajustes na rotina de medicação, atividades físicas adequadas ou orientações de dietas.

4.3.2 Plataforma de Computação na Nuvem

A plataforma ThingSpeak foi escolhida para este sistema devido à sua viabilidade e praticidade em ensaios e desenvolvimento, principalmente por sua integração com o MATLAB. No entanto, é importante ressaltar que, para uma aplicação em larga escala e a longo prazo, pode ser necessário o desenvolvimento

de bancos de dados mais robustos e interfaces de visualização mais direcionadas para essa aplicação específica.

O processamento e análise avançada, e a visualização dos dados serão feitos na nuvem, através da plataforma ThingSpeak:

- Armazenamento dos dados: O ThingSpeak armazena grandes quantidades de dados obtidos e históricos do paciente.
- Processamento Avançado: O ThingSpeak integra-se com o MATLAB, permitindo a aplicação de algoritmos de IA.
- Visualização dos Dados: Os dados poderão ser visualizados em tempo real por cuidadores em dashboards para monitorar a saúde dos idosos.
- Relatórios Periódicos: Serão gerados periodicamente para fornecer uma visão geral do estado de saúde do idoso, assim como recomendações.
- Alertas e Notificações: Alertas automáticos serão configurados para notificar os cuidadores sobre alguma anomalia ou emergência.

4.4 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE NO THINGSPEAK

Para demonstrar o potencial de funcionamento do sistema especificado, foi desenvolvida uma interface na plataforma ThingSpeak. Essa interface inclui dashboards que exibem os sinais vitais monitorados em tempo real, como FC, Spo2, PA e glicose. Além disso, ela também indica a ocorrência de quedas e os horários de consumo de medicamentos. A interface tem a capacidade de enviar alertas por e-mail em diversas situações, como quando uma queda é detectada, quando chega o momento de tomar o medicamento ou quando valores anormais são detectados, como em casos de hipóxia e bradicardia.

Para a glicose, foi implementada uma técnica de machine learning baseada em regressão linear, que permite prever a ocorrência de hipoglicemia ou hiperglicemia, enviando alertas correspondentes ao e-mail do usuário.

A simulação dos sinais vitais foi realizada utilizando tanto dados reais extraídos de bases de dados quanto dados sintéticos que imitam padrões típicos desses sinais. Embora a aquisição de dados físicos, por meio de sensores específicos para capturar os sinais vitais de idosos, não tenha sido realizada devido a limitações de tempo e custos, a utilização do ThingSpeak para simulação se mostrou uma forma

eficaz de validar o desenvolvimento da arquitetura do sistema e o conceito proposto. A plataforma ThingSpeak oferece uma infraestrutura robusta para coleta, armazenamento e visualização de dados em tempo real, facilitando a integração com dispositivos IoT e a implementação de algoritmos de análise de dados.

4.4.1 Monitoramento dos Sinais Vitais

4.4.1.1 Frequência Cardíaca

As leituras de FC foram obtidas a partir da base de dados BIG IDEAs Lab Glycemic Variability and Wearable Device Data (CHO *et al.*, 2023), disponibilizada na plataforma PhysioNet. Os registros foram realizados em intervalos de um segundo. No entanto, como a plataforma ThingSpeak tem uma frequência de atualização mínima de 15 segundos, os dados foram amostrados a cada 15 segundos para se alinhar com esse intervalo.

Para a visualização da FC, foi utilizado o Field 1 da plataforma ThingSpeak, que exibe as leituras em tempo real e também o histórico de leituras. Além disso, um widget foi configurado para facilitar a visualização da última leitura de FC. A Figura 13 ilustra a visualização e histórico das leituras de FC no ThingSpeak.

Figura 13: Representação da FC



Fonte: Autor

Quando a plataforma detecta uma leitura de FC abaixo de 50 BPM, um alerta de bradicardia é enviado automaticamente ao e-mail cadastrado. A Figura 14 apresenta um exemplo do alerta de bradicardia enviado ao e-mail.

Figura 14: Alerta de Bradicardia



Fonte: Autor

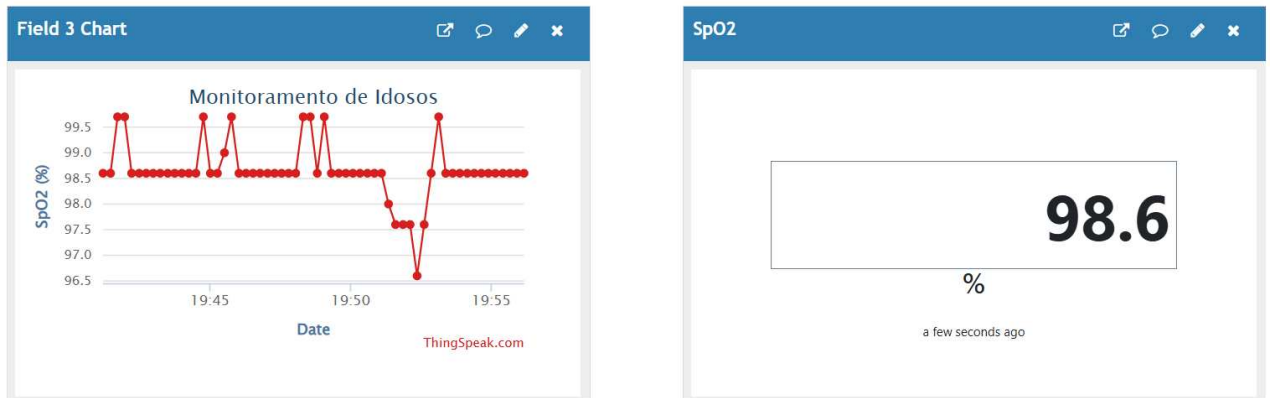
4.4.1.2 *Saturação de Oxigênio*

As leituras da Spo2 foram extraídas da base de dados Pattern Analysis of Oxygen Saturation Variability (BHOGAL; MANI, 2017), disponível na plataforma PhysioNet. Essa base contém valores de SpO2 de um paciente, registrados continuamente a cada segundo. Para transmitir os dados ao ThingSpeak, foram realizadas amostragens a cada 15 segundos, em conformidade com o intervalo de atualização mínima da plataforma.

A última leitura de SpO2, juntamente com o histórico de leituras, é visualizada no Field 3 do ThingSpeak. Além disso, um widget de display numérico apresenta o valor atual de Spo2 para facilitar a monitorização em tempo real.

A Figura 15 ilustra o histórico de Spo2 do paciente e a última leitura apresentada no display numérico.

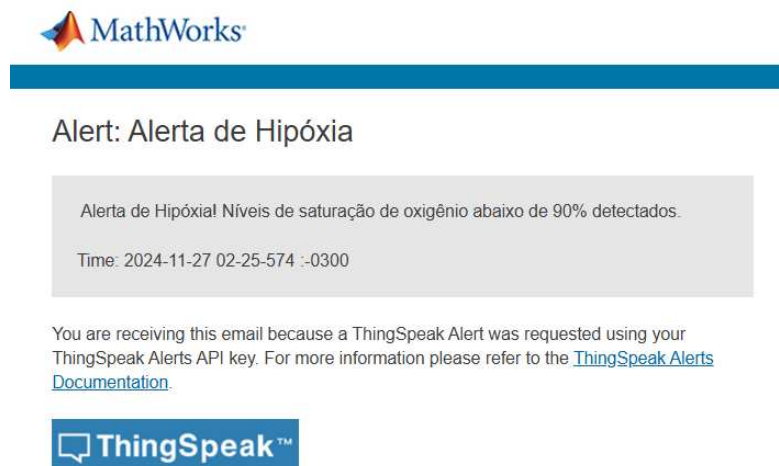
Figura 15: Representação da Spo2



Fonte: Autor

Um alarme é enviado automaticamente ao e-mail cadastrado quando é feita uma leitura de Spo2 abaixo de 90%, indicando um episódio de Hipóxia. A Figura 16 ilustra um exemplo de mensagem de alerta enviada ao e-mail.

Figura 16: Alerta de Hipóxia



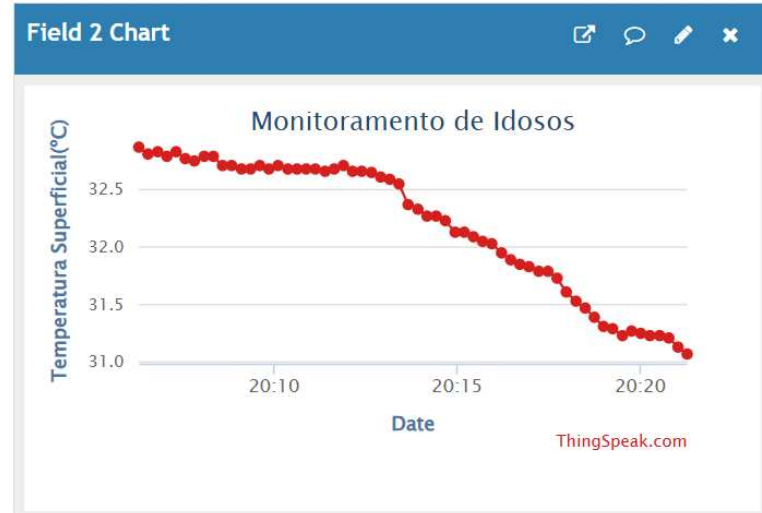
Fonte: Autor

4.4.1.3 *Temperatura Superficial*

Para a leitura dos valores de temperatura superficial, foi utilizada a base de dados BIG IDEAs Lab Glycemic Variability and Wearable Device Data (CHO *et al.*, 2023), que contém medições de temperatura superficial realizadas a cada 0,25 segundos. Para compatibilizar com o intervalo de atualização do ThingSpeak, as leituras foram selecionadas e enviadas a cada 15 segundos, sendo registradas no Field 2.

A Figura 17 apresenta a leitura e o histórico de temperaturas superficiais do paciente.

Figura 17: Representação da Temperatura Superficial



Fonte: Autor

4.4.1.4 Pressão Arterial

Durante a pesquisa, não foi possível encontrar nenhuma base de dados contendo leituras contínuas de PA. Como alternativa, os sinais de PA sistólica e diastólica foram simulados por meio de um script no Matlab. Valores sintéticos de PA são gerados periodicamente e enviados para o ThingSpeak a cada 15 segundos. As leituras de pressão sistólica e diastólica são exibidas nos Fields 4 e 5, respectivamente. A Figura 18 ilustra o histórico dessas leituras simuladas de PA.

Figura 18: Representação da Pressão Arterial

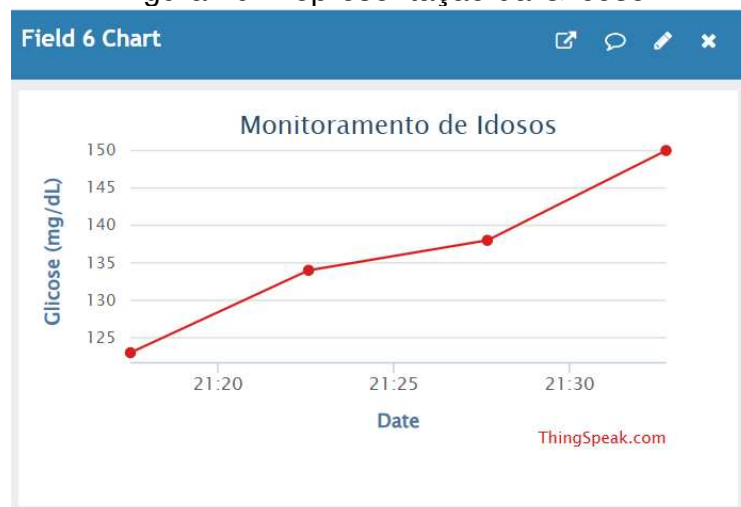


Fonte: Autor

4.4.1.5 Glicose

Para a leitura dos valores de glicose, foi utilizada a base de dados BIG IDEAs Lab Glycemic Variability and Wearable Device Data (CHO *et al.*, 2023), que contém medições feitas a cada cinco minutos de um paciente. Esses valores foram então enviados ao ThingSpeak com o mesmo intervalo de tempo. A Figura 19 ilustra o histórico das medições de glicose.

Figura 19: Representação da Glicose



Fonte: Autor

Para prever episódios de hipoglicemia e hiperglicemia, foi implementado no Matlab um script utilizando uma técnica de machine learning, a regressão linear (ALAM; ROKHANA; SUSETYOKO, 2023). Com base nas medições anteriores, a técnica de regressão linear estima os valores futuros de glicose. Quando a previsão da próxima leitura de glicose indica um valor fora dos limites considerados normais, um alerta é enviado ao e-mail cadastrado.

Como as leituras de glicose ocorrem a cada cinco minutos, a técnica de regressão linear utiliza os valores de glicose já lidos para o estimar o valor da próxima leitura com aproximadamente cinco minutos de antecedência. Quando o valor de glicose previsto para a próxima leitura é acima de 180 mg/dl, um alerta de previsão de hiperglicemia é enviado; já quando o valor previsto for abaixo de 70 mg/dl, um alerta de previsão de hipoglicemia é enviado ao e-mail cadastrado.

Para demonstrar o funcionamento do alerta, a Figura 20 apresenta uma sequência de capturas de tela do console do Matlab.

Figura 20: Capturas de tela do console do Matlab

```

Horário atual: 20:18:45
Dados enviados: Glicose = 169 mg/dL na iteração 161
Horário atual: 20:19:00
Glicose prevista para a próxima leitura 174.78 mg/dL

Horário atual: 20:23:49
Dados enviados: Glicose = 178 mg/dL na iteração 181
Horário atual: 20:24:04
Glicose prevista para a próxima leitura 184.27 mg/dL
Enviando alerta: Previsão de hiperglicemia! Glicose prevista acima de 180 mg/dl: 184.27 mg/dL
Alerta enviado: Previsão de hiperglicemia! Glicose prevista acima de 180 mg/dl: 184.27 mg/dL

Horário atual: 20:28:54
Dados enviados: Glicose = 190 mg/dL na iteração 201

```

Fonte: Autor

Ao analisar a Figura 20, podemos verificar que às 20:24:04 foi feita uma previsão de hiperglicemia para a próxima leitura de glicose, que ocorreu às 20:28:54, confirmando a previsão com a leitura da glicose de 190 mg/dl. A previsão foi feita com aproximadamente cinco minutos de antecedência e o alerta foi enviado ao e-mail às 20:24, como pode ser visto na Figura 21.

Figura 21: Alerta de Previsão de Hiperglicemia



Alert: Alerta de Hiperglicemia

Previsão de hiperglicemia! Glicose prevista acima de 180 mg/dl: 184.27 mg/dL

Time: 2024-12-01 20-24-266 :-0300

You are receiving this email because a ThingSpeak Alert was requested using your ThingSpeak Alerts API key. For more information please refer to the [ThingSpeak Alerts Documentation](#).



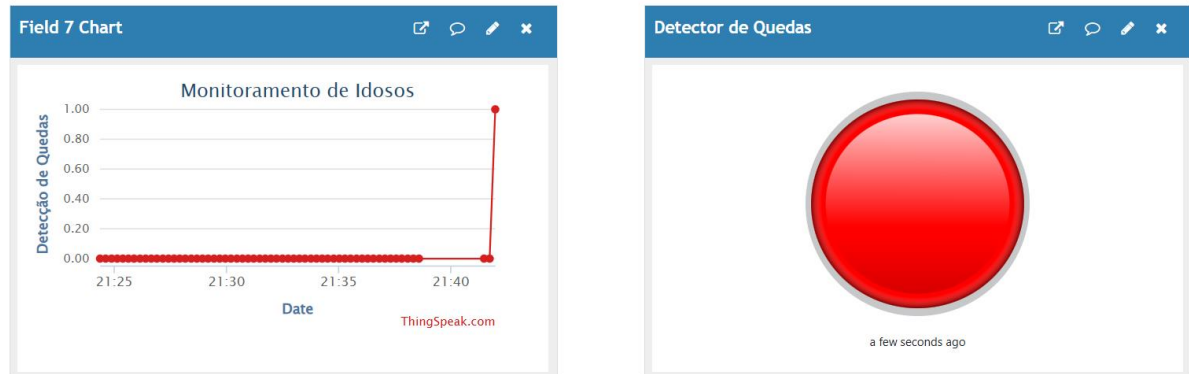
Fonte: Autor

4.4.2 Detecção de quedas

Para simular uma queda de um idoso, foi utilizado um script no Matlab que gera o valor “1” com uma probabilidade de 3% a cada iteração para a variável quedaDetectada. Quando uma queda é detectada, o valor “1” é enviado ao Field 7 do

ThingSpeak. Ao receber o valor “1”, o widget de lâmpada é aceso e uma mensagem de alerta é enviada ao e-mail cadastrado. A Figura 22 mostra a interface de detecção e histórico de quedas no ThingSpeak, enquanto a Figura 23 ilustra a mensagem de alerta enviada por e-mail.

Figura 22: Interface de Detecção de Quedas



Fonte: Autor

Figura: 23 Alerta de Queda



Fonte: Autor

4.4.3 Gerenciador de Medicamentos

Através de um script no Matlab, é gerado um alerta para lembrar o idoso de tomar os medicamentos no horário programado. Quando o horário de medicação é detectado, um alerta é enviado automaticamente para o e-mail cadastrado. Caso o consumo seja confirmado, o valor “1” é enviado ao Field 8 do ThingSpeak, registrando a ação no sistema. Essa funcionalidade permite que o próprio idoso, cuidadores e médicos acompanhem o histórico de consumo de medicamentos em tempo real. A

Figura 24 ilustra o alerta enviado ao e-mail, enquanto a Figura 25 apresenta a interface no ThingSpeak, que exibe o registro de consumo dos medicamentos.

Figura 24: Alerta de Medicamento



Alert: Alerta de Medicamento

É hora de tomar o medicamento! Por favor, verifique.

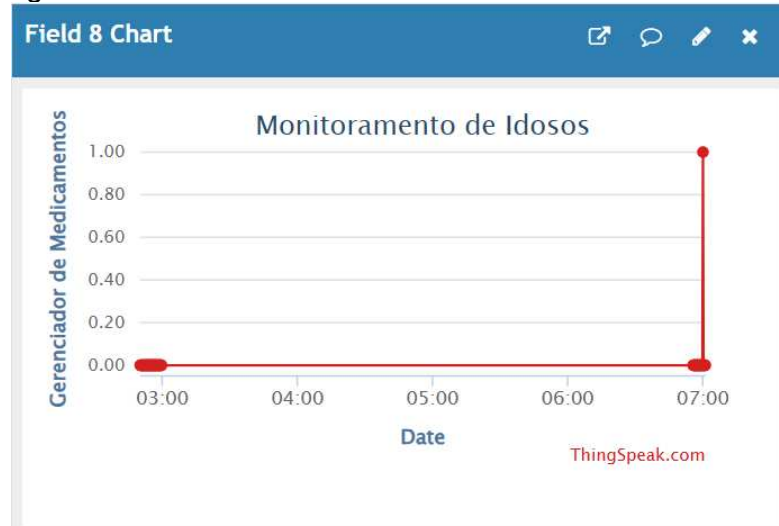
Time: 2024-12-02 07-00-573 :-0300

You are receiving this email because a ThingSpeak Alert was requested using your ThingSpeak Alerts API key. For more information please refer to the [ThingSpeak Alerts Documentation](#).



Fonte: Autor

Figura 25: Interface de Gerenciamento de Medicamentos



Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão geral do estado da arte da IoT na saúde doméstica, conduzir estudos de caso e especificar uma aplicação de IoT voltada para o monitoramento de idosos.

Inicialmente, foram abordados os fundamentos da IoT, incluindo a definição e a arquitetura de um sistema IoT. As tecnologias envolvidas foram estudadas, abrangendo sensores e atuadores, topologias de redes, tecnologias de comunicação sem fio, protocolos de rede e gestão de dados.

Os principais dispositivos e tecnologias utilizados para o monitoramento dos sinais vitais foram explorados, e algumas aplicações da IoT na saúde doméstica foram apresentadas através de estudos de caso. Essas aplicações incluem o monitoramento de sinais vitais, monitoramento de quedas, gestão de medicamentos, monitoramento da asma e de pessoas com deficiências cognitivas.

Com base na revisão da literatura e nos estudos de caso apresentados no Capítulo 3, foi possível especificar um sistema IoT abrangente para o monitoramento de idosos no Capítulo 4. O sistema é composto por uma pulseira inteligente contendo diversos sensores, um medidor de glicose e um gerenciador de medicamentos, os quais interagem com uma plataforma na nuvem que realiza processamento e análise avançada. Isso permite fornecer um monitoramento contínuo e preciso de idosos, seja em suas casas ou em lares de idosos.

Para demonstrar o potencial de funcionamento do sistema especificado, uma interface foi desenvolvida na plataforma ThingSpeak. A interface inclui dashboards que exibem os sinais vitais monitorados continuamente e em tempo real, além de indicar ocorrências de quedas e os horários de consumo dos medicamentos. Alertas são enviados por e-mail quando valores anormais são detectados em alguns sinais, quando há uma queda e também nos horários de consumo dos medicamentos. Uma técnica de regressão linear foi implementada para prever valores anormais de glicose, como hiperglicemia ou hipoglicemia, enviando um alerta por e-mail quando essas condições são previstas.

Os resultados obtidos demonstram o potencial do sistema especificado para melhorar a qualidade de vida dos idosos, proporcionando um monitoramento de saúde eficiente e contínuo.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

O sistema IoT especificado tem grande potencial, oferecendo diversas funcionalidades e benefícios para a saúde e bem estar dos idosos. Os pontos a seguir podem ser estudados e implementados em trabalhos futuros:

- **Implementação Real do Sistema:** O primeiro passo é implementar realmente o sistema, seja em uma residência ou lar de idosos. Isso permitirá validar a eficácia do sistema, identificar os possíveis problemas da implementação na prática e ajustar o sistema às necessidades dos usuários.
- **Privacidade e Segurança dos Dados:** A proteção dos dados de saúde dos idosos é muito importante, especialmente considerando as regulamentações da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Protocolos de segurança e criptografia avançados devem ser implementados para garantir a privacidade dos pacientes, assegurando que seus dados pessoais e sensíveis sejam tratados de acordo com a LGPD e outras normas aplicáveis.
- **Autonomia da Bateria:** A duração da bateria em um dispositivo vestível com múltiplos sensores, como a pulseira inteligente, é um desafio. Baterias com altas densidades de carga devem ser utilizadas e técnicas para otimizar o consumo precisam ser desenvolvidas.
- **Sensores Adicionais:** Outros tipos de sensores, como sensores ambientais para monitorar a qualidade, temperatura e umidade do ar poderiam ser adicionados.
- **Integração de GNSS:** A inclusão de um GNSS na pulseira ou em outro dispositivo vestível permitiria o monitoramento da localização de idosos com deficiências cognitivas, assim como estabelecer alertas caso o idoso saia de uma área definida como segura.
- **Deteção de Anomalias:** Técnicas mais sofisticadas de machine learning podem ser utilizadas na previsão dos níveis de glicose, assim como para prever outras anomalias nos sinais medidos, permitindo intervenções mais rápidas.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, D. K.; USAHA, W.; POJPRAPAI, S.; WATTANAPAN, P. Fall Risk Prediction Using Wireless Sensor Insoles With Machine Learning. **IEEE Access**, v. 11, p. 23119–23126, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3252886>

ALABDULKARIM, H. Outcomes of continuous glucose monitoring: Protocol for A Systematic Review of Systematic Reviews. *In: 2022, 2022 IEEE 20th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*. : IEEE, 2022. p. 37–40. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SISY56759.2022.10036185>

ALAM, D. S.; ROKHANA, R.; SUSETYOKO, R. Non-Invasive Measurement of Blood Glucose Levels Using Linear Regression and Clark Error Grid Analysis Methods. *In: 2023, 2023 Sixth International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)*. : IEEE, 2023. p. 184–190. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICVEE59738.2023.10348210>

AL-AWAMI, S. H.; MAHFUD AL-ATY, M.; AL-NAJAR, M. F. Comparison of IoT Architectures Based on the Seven Essential Characteristics. *In: 2023, 2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*. : IEEE, 2023. p. 305–310. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MI-STA57575.2023.10169289>

ALEJANDRO, L. L.; GULPRIC, M. M.; LANON, C. J. F.; MACALALAG, F. M. A.; PLACIO, R. M. A. ICFY (I Care For You): An IOT Based Fall Detection and Monitoring Device using ESP32-CAM and MPU 6050 Sensors. *In: 2023, 2023 8th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)*. : IEEE, 2023. p. 1009–1013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICBIR57571.2023.10147586>

AL-FUQAHA, A.; GUIZANI, M.; MOHAMMADI, M.; ALEDHARI, M.; AYYASH, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>

ALI, A. I.; PARTAL, S. Z.; KEPKE, S.; PARTAL, H. P. ZigBee and LoRa based Wireless Sensors for Smart Environment and IoT Applications. *In: 2019, 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*. : IEEE, 2019. p. 19–23. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/GPECOM.2019.8778505>

ANALOG DEVICES. **Datasheet MAX30003**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX30003.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.

ARAUZ, J.; FYNN-CUDJOE, T. Actuator quality in the Internet of Things. *In*: 2013, **2013 IEEE International Workshop of Internet-of-Things Networking and Control (IoT-NC)**. : IEEE, 2013. p. 34–42. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IoT-NC.2013.6694051>

ASANZA, V.; MIRANDA, J.; MIRANDA, J.; RIVAS, L.; HERNAN PELUFFO-ORDONEZ, D.; PELAEZ, E.; LOAYZA, F.; ALEJANDRO, O. Electrooculography Signals Classification for FPGA-based Human-Computer Interaction. *In*: 2022, **2022 IEEE ANDESCON**. : IEEE, 2022. p. 1–7. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ANDESCON56260.2022.9989664>

ASHABI, A.; SAHIBUDDIN, S. Bin; HAGHIGHI, M. S. Big Data: Current Challenges and Future Scope. *In*: 2020, **2020 IEEE 10th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)**. : IEEE, 2020. p. 131–134. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISCAIE47305.2020.9108826>

AWAN, K. A.; DIN, I. U.; ALMOGREN, A.; RODRIGUES, J. J. P. C. Privacy-Preserving Big Data Security for IoT With Federated Learning and Cryptography. **IEEE Access**, v. 11, p. 120918–120934, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3328310>

BANOTRA, A.; GHOSE, S.; MISHRA, D.; MODEM, S. Energy harvesting in self-sustainable IoT devices and applications based on cross-layer architecture design: A survey. **Computer Networks**, v. 236, p. 110011, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.110011>

BARUA, A.; AL ALAMIN, M. A.; HOSSAIN, M. S.; HOSSAIN, E. Security and Privacy Threats for Bluetooth Low Energy in IoT and Wearable Devices: A Comprehensive Survey. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 3, p. 251–281, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3149732>

BHOGAL, A. S.; MANI, A. R. Pattern Analysis of Oxygen Saturation Variability in Healthy Individuals: Entropy of Pulse Oximetry Signals Carries Information about Mean Oxygen Saturation. **Frontiers in Physiology**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00555>

BOLLIMUNTHA, M.; MURUGAN, K. Design and Implementation of an Interoperable IoT Based Health Monitoring System for Diabetes. *In*: 2023, **2023 5th**

International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT).
: IEEE, 2023. p. 386–390. Disponível em:
<https://doi.org/10.1109/ICSSIT55814.2023.10061057>

CHO, P.; KIM, J.; BENT, B.; DUNN, J. **BIG IDEAs Lab Glycemic Variability and Wearable Device Data.** [s. l.], 2023. Disponível em:
<https://physionet.org/content/big-ideas-glycemic-wearable/1.1.2/>. Acesso em: 1 dez. 2024.

DAVE, M.; DOSHI, J.; AROLKAR, H. MQTT- CoAP Interconnector: IoT Interoperability Solution for Application Layer Protocols. *In*: 2020, **2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)**. : IEEE, 2020. p. 122–127. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/I-SMAC49090.2020.9243377>

DIENE, B.; DIALLO, O.; RODRIGUES, J. J. P. C.; NDOYE, E. H. M.; TEODOROV, C. Data Management Mechanisms for IoT: Architecture, Challenges and Solutions. *In*: 2020, **2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)**. : IEEE, 2020. p. 1–6. Disponível em:
<https://doi.org/10.23919/SpliTech49282.2020.9243728>

DOS SANTOS, W. G. V.; COSTA, W. S.; FABER, M. J.; SILVA, J. A. L.; ROCHA, H. R. O.; SEGATTO, M. E. V. Sensor Allocation in a Hybrid Star-Mesh IoT Network using Genetic Algorithm and K-Medoids. *In*: 2019, **2019 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)**. : IEEE, 2019. p. 1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/LATINCOM48065.2019.8937958>

DUNKO, G.; MISRA, J.; ROBERTSON, J.; SNYDER, T. **A Reference Guide to the Internet of Things**. 1. ed. [S. l.]: Bridgera , 2017. *E-book*. Disponível em:
<https://bridgera.com/ebook>

ELKAHLOUT, M.; ABU-SAQER, M. M.; ALDAOUR, A. F.; ISSA, A.; DEBELJAK, M. IoT-Based Healthcare and Monitoring Systems for the Elderly: A Literature Survey Study. *In*: 2020, **2020 International Conference on Assistive and Rehabilitation Technologies (iCareTech)**. : IEEE, 2020. p. 92–96. Disponível em:
<https://doi.org/10.1109/iCareTech49914.2020.00025>

ERIDANI, D.; ROCHIM, A. F.; CESARA, F. N. Comparative Performance Study of ESP-NOW, Wi-Fi, Bluetooth Protocols based on Range, Transmission Speed, Latency, Energy Usage and Barrier Resistance. *In*: 2021, **Proceedings - 2021 International Seminar on Application for Technology of Information and**

Communication: IT Opportunities and Creativities for Digital Innovation and Communication within Global Pandemic, iSemantic 2021. : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. p. 322–328. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/iSemantic52711.2021.9573246>

FAN, S.; GE, Y.; YU, X. Comparison Analysis and Prediction of Modern Wi-Fi Standards. *In: 2022, Proceedings - 2022 International Conference on Big Data, Information and Computer Network, BDICN 2022.* : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. p. 581–585. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/BDICN55575.2022.00112>

GARCÍA-REQUEJO, A.; PÉREZ-RUBIO, M. C.; VILLADANGOS, J. M.; HERNÁNDEZ, Á. Activity Monitoring and Location Sensory System for People With Mild Cognitive Impairments. **IEEE Sensors Journal**, v. 23, n. 5, p. 5448–5458, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3239980>

GAVRA, V.-D.; POP, O. A. Usage of ZigBee and LoRa wireless technologies in IoT systems. *In: 2020, 2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME).* : IEEE, 2020. p. 221–224. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SIITME50350.2020.9292150>

GISLASON, D. **Zigbee Wireless Networking.** [S. l.: s. n.].

GOHLKE, L.; DREYER, F.; ALVAREZ, M. P.; ANDERS, J. An IoT based low-cost heart rate measurement system employing PPG sensors. *In: 2020, 2020 IEEE SENSORS.* : IEEE, 2020. p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278844>

HASAN, S.; PANTHA, T.; ARAFAT, M. A. Design and development of a cost-effective portable IoT enabled multi-channel physiological signal monitoring system. **Biomedical Engineering Advances**, v. 7, p. 100124, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bea.2024.100124>

HASSIJA, V.; CHAMOLA, V.; SAXENA, V.; JAIN, D.; GOYAL, P.; SIKDAR, B. A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures. **IEEE Access**, v. 7, p. 82721–82743, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2924045>

INVENSENSE. **Datasheet MPU-6050.** [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.

IRFANI, M. Z.; KOESOEMA, A. P. Continuous and Non-Invasive Blood Glucose Measurements: A Narrative Review. *In: 2023, 2023 10th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE).* : IEEE, 2023. p. 448–453. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICITACEE58587.2023.10276663>

JILEK, J.; STORK, M. Home Blood Pressure Monitors For 21st Century. *In: 2022, 2022 International Conference on Applied Electronics (AE).* : IEEE, 2022. p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/AE54730.2022.9919887>

KOÇAK, O.; TELATAR, Z.; FIÇICI, C.; KOÇOĞLU, A. Design a Cuffless Blood Pressure Measurement System. *In: 2023, 2023 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).* : IEEE, 2023. p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIPTEKNO59875.2023.10359204>

KULURKAR, P.; DIXIT, C. kumar; BHARATHI, V. C.; MONIKAVISHNUVARTHINI, A.; DHAKNE, A.; PREETHI, P. AI based elderly fall prediction system using wearable sensors: A smart home-care technology with IOT. **Measurement: Sensors**, v. 25, p. 100614, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100614>

LACAVA, A.; ZOTTOLA, V.; BONALDO, A.; CUOMO, F.; BASAGNI, S. Securing Bluetooth Low Energy networking: An overview of security procedures and threats. **Computer Networks**, v. 211, p. 108953, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108953>

LOPEZ, A.; FERRERO, F. J.; VALLEDOR, M.; CAMPO, J. C.; POSTOLACHE, O. A study on electrode placement in EOG systems for medical applications. *In: 2016, 2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA).* : IEEE, 2016. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MeMeA.2016.7533703>

MARTÍNEZ, V. M. G.; RIBEIRO, M. R. N.; MOTA, V. F. S. Wi-Fi faces the new wireless ecosystem: a critical review. **Annals of Telecommunications**, v. 79, n. 5–6, p. 397–413, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12243-023-00995-2>

MATHWORKS. **ThingSpeak**. [s. l.], 2024. Disponível em: <https://thingspeak.mathworks.com/>. Acesso em: 3 dez. 2024.

MAXIM INTEGRATED. **Datasheet MAX30101**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30101.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.

MEKKI, K.; BAJIC, E.; CHAXEL, F.; MEYER, F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. **ICT Express**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>

MOZAFFARIAHRAR, E.; THEOLEYRE, F.; MENTH, M. A Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges. **Future Internet**, v. 14, n. 10, 2022 a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fi14100293>

MOZAFFARIAHRAR, E.; THEOLEYRE, F.; MENTH, M. A Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges. **Future Internet**, v. 14, n. 10, 2022 b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fi14100293>

NAGHIB, A.; JAFARI NAVIMIPOUR, N.; HOSSEINZADEH, M.; SHARIFI, A. A comprehensive and systematic literature review on the big data management techniques in the internet of things. **Wireless Networks**, v. 29, n. 3, p. 1085–1144, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11276-022-03177-5>

NAVEEN, S.; KOUNTE, M. **Key Technologies and challenges in IoT Edge Computing**. [S. l.: s. n.].

NWIBOR, C.; HAXHA, S.; ALI, M. M.; SAKEL, M.; HAXHA, A. R.; SAUNDERS, K.; NABAKOOZA, S. Remote Health Monitoring System for the Estimation of Blood Pressure, Heart Rate, and Blood Oxygen Saturation Level. **IEEE Sensors Journal**, v. 23, n. 5, p. 5401–5411, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3235977>

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Ageing and health**. [s. l.], 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>. Acesso em: 2 dez. 2024.

PANDA, S.; KUMAR, R.; PANDA, B.; NANDA, L.; PRADHAN, A.; JENA, C. Medical Applications of the Internet of Things (IoT): A Literature Review. *In*: 2024, **2024 1st International Conference on Innovative Sustainable Technologies for Energy, Mechatronics, and Smart Systems (ISTEMS)**. : IEEE, 2024. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISTEMS60181.2024.10560095>

PANDEY, S.; GARETHIYA, S.; ABHISHEK, M. R.; KADAMBI, G. R. Effect on Range of Zigbee Network Due to Height of Coordinator and End Nodes. *In*: 2018, **2018 Fourteenth International Conference on Information Processing (ICINPRO)**. : IEEE, 2018. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICINPRO43533.2018.9096680>

PATEL, N.; RICHARDS, N.; STEVENS, S.; LIESEGANG, B.; TYSON, E.; RICHSTEIN, J.; AVUTHU, S. G. R. Development of FHE based Wearable Patch for Comfortable, Noninvasive Body Temperature Monitoring. *In: 2022, 2022 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS)*. : IEEE, 2022. p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/FLEPS53764.2022.9781565>

PEDDISETTI, V.; KANDREGULA, P. K.; JOHN, J. A.; POOMDLA, S.; GEORGE, K.; PANANGADAN, A. Smart Medication Management: Enhancing Medication Adherence with an IoT-Based Pill Dispenser and Smart Cup. *In: 2024, 2024 IEEE First International Conference on Artificial Intelligence for Medicine, Health and Care (AIMHC)*. : IEEE, 2024. p. 137–144. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/AIMHC59811.2024.00032>

PINTO, S.; CABRAL, J.; GOMES, T. We-care: An IoT-based health care system for elderly people. *In: 2017, 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. : IEEE, 2017. p. 1378–1383. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2017.7915565>

R, D. D.; S, A.; G, A.; P, H.; V, S.; SELVARAJ, B.; AL-ATTABI, K.; SUNEETHA, T. V. Smart Asthma Inhaler with Smart Band. *In: 2023, 2023 International Conference for Technological Engineering and its Applications in Sustainable Development (ICTEASD)*. : IEEE, 2023. p. 320–324. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICTEASD57136.2023.10584900>

SAMSIAR, A.; IBRAHIM, I.; AULIA, A. L.; SARI, R. F. Performance comparison of Wi-Fi and LTE for Internet of Things on named data networking. *In: 2017, 2017 4th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)*. : IEEE, 2017. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CONMEDIA.2017.8266021>

SARTIKA, N.; SUKMANA, Y.; EFFENDI, M. R.; RUSLIANA, I.; KHOMISAH, K.; YUNINGSIH, Y. A Systematic Literature Review on IoT-based Smart Grid. *In: 2021, 2021 7th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*. : IEEE, 2021. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICWT52862.2021.9678415>

SEHRAWAT, D.; GILL, N. S. Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. *In: 2019, 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*. : IEEE, 2019. p. 523–528. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862778>

SEOANE, V.; GARCIA-RUBIO, C.; ALMENARES, F.; CAMPO, C. Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments. **Computer Networks**, v. 197, p. 108338, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108338>

SHEN, D.; TAO, X.; KONCAR, V.; WANG, J. A Review of Intelligent Garment System for Bioelectric Monitoring During Long-Lasting Intensive Sports. **IEEE Access**, v. 11, p. 111358–111377, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3322925>

SINGH, K.; THIYAGARAJAN, P.; P, S. Design and implementation of IoT enabled low cost SPO2 and heart rate monitoring system. *In*: 2022, **2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON)**. : IEEE, 2022. p. 1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/DELCON54057.2022.9753167>

TEXAS INSTRUMENTS. **Datasheet LM35**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.

WANG, K. I. K.; YE, X.; SAKURAI, K. Federated Learning with Clustering-Based Participant Selection for IoT Applications. *In*: 2022, **Proceedings - 2022 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2022**. : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. p. 6830–6831. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/BigData55660.2022.10020575>

XU, X.; WANG, P. Low-Cost Circuit Design for EEG Signal Amplification and Extraction. *In*: 2021, **2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC)**. : IEEE, 2021. p. 299–302. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IPEC51340.2021.9421325>

XUE, F.; WANG, S.; XU, X. Heart rate anomaly monitoring based on 77GHz millimeter wave radar. *In*: 2024, **2024 7th International Conference on Computer Information Science and Application Technology (CISAT)**. : IEEE, 2024. p. 1062–1065. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CISAT62382.2024.10695422>

YU, F.; CHEN, Z.; JIANG, M.; TIAN, Z.; PENG, T.; HU, X. Smart Clothing System With Multiple Sensors Based on Digital Twin Technology. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 10, n. 7, p. 6377–6387, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3224947>

ZHANG, X.; ZHANG, Z. Design on Sampling Circuit of EEG Signal Based on AT89C2051 Single-Chip. *In*: 2009, **2009 Fourth International Conference on**

Innovative Computing, Information and Control (ICICIC). : IEEE, 2009. p. 454–457. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICICIC.2009.169>

ZHONG, Y.; CHEN, L.; DAN, C.; REZAEIPANAH, A. A systematic survey of data mining and big data analysis in internet of things. **The Journal of Supercomputing**, v. 78, n. 17, p. 18405–18453, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04594-1>

ZTE CORPORATION. **Wi-Fi 6 Technology and Evolution White Paper**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://www.zte.com.cn/content/dam/zte-site/res-www-zte-com-cn/mediares/zte/files/pdf/white_book/Wi-Fi_6_Technology_and_Evolution_White_Paper-202009232125.pdf. Acesso em: 1 ago. 2024.