



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

Estudo sobre aplicações de IoT na área médica

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Ebert de Carvalho Rodrigues Neto
Orientador: Prof. Richard Demo Souza, Ph.D.

Florianópolis, Fevereiro de 2020.

EBERT DE CARVALHO RODRIGUES NETO

ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DE IOT NA ÁREA MÉDICA

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de En-
genharia Elétrica e Eletrônica da
Universidade Federal de Santa Ca-
tarina para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Eletrô-
nica.

Orientador: Prof. Richard Demo
Souza, Ph.D.

**FLORIANÓPOLIS
2020**

Ebert de Carvalho Rodrigues Neto

ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DE IOT NA ÁREA MÉDICA

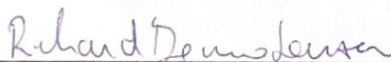
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 12 de Fevereiro de 2020.



Prof. Fernando Rangel de Sousa, Ph.D.
Coordenador do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

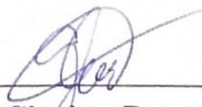
Banca examinadora:



Prof. Richard Demo Souza, Ph.D.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Carlos Montez, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Glauber Brante, Ph.D.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Agradecimentos

Expresso meu agradecimento, primeiramente, a Deus por me conceder saúde e capacidade física e mental para superar diversas barreiras, permitindo-me aqui chegar.

Agradeço à minha mãe, Rosemari Rosa da Silva Rodrigues, a “Rose”, pelo amor e apoio incondicionais a mim dispensados, ao meu pai, Luiz Cláudio de Carvalho Rodrigues, pelos bons exemplos e conselhos, à minha avó, Dilma Rosa da Silva, a “Dona Dilma”, por sempre despender sobre mim seu amor e carinho, e ao meu avô, Aletto Luiz da Silva, o “Vô Aletto”, *in memoriam*, pelos ensinamentos e lições de vida.

Estendo, também, meus agradecimentos à minha irmã Luiza, pelas conversas e conselhos, à minha namorada Camila, que sempre me apoiou e esteve comigo durante boa parte da graduação, aos amigos de infância pela parceria de sempre, aos amigos da faculdade pela amizade construída ao longo dos anos na UFSC, pelas horas de estudos, listas de exercícios compartilhadas e auxílio na graduação.

Agradeço, por fim, aos meus professores, que contribuíram para minha formação pessoal e profissional. Em especial, ao professor Richard Demo Souza pelas aulas e orientação deste trabalho.

RESUMO

Cuidados com a saúde são fundamentais para garantir uma boa qualidade de vida e um envelhecimento digno para a população. Atualmente os processos em saúde passam por muitas dificuldades, como altos gastos em tratamentos, instalações e treinamento de pessoal. Com os avanços da tecnologia e das comunicações, sistemas IoT passam a ser considerados na área médica, visando a diminuição de custos e o aumento do desempenho de tratamentos.

Neste trabalho é apresentada a arquitetura geral de um sistema IoT, dividida em três categorias: dispositivos IoT, comunicação, e análise de dados. São destacados diferentes sensores e atuadores, a função da unidade de controle, e a importância do baixo consumo de energia em IoT.

Também são estudados diferentes padrões de comunicação sem fio, divididos em longo, médio e curto alcance, bem como duas topologias de rede: estrela e mesh. A análise de dados é da mesma forma abordada, apontando a importância dos dados e da sua segurança, principalmente na área de saúde.

Mais adiante, são discutidos trabalhos acadêmicos sobre aplicações de IoT em saúde, em diferentes áreas, como: detecção de ataques cardíacos, soluções para pessoas com asma, proteção de dados, monitoramento de sinais vitais e de pacientes com mal de Parkinson, e detecção de quedas.

Palavras-chave: Internet das Coisas, IoT em saúde.

ABSTRACT

Healthcare is fundamental to guarantee a good quality of life and a dignified aging for the population. Currently, health processes go through many difficulties, such as high expenses on treatments, facilities and training of personnel. With advances in technology and communications, IoT systems are now considered in the medical field, aiming to reduce costs and increase treatment performance.

This work presents the general architecture of an IoT system, divided into three categories: IoT devices, communication, and data analysis. Different sensors and actuators, the function of the control unit, and the importance of low energy consumption in IoT are highlighted.

Different wireless communication patterns are also studied, divided into long, medium and short range, as well as two network topologies: star and mesh. Data analysis is also approached, pointing out the importance of data and its security, especially in the healthcare area.

Further on, academic papers on IoT applications in healthcare are discussed in different areas, such as: detection of heart attacks, solutions for people with asthma, data protection, monitoring of vital signs and patients with Parkinson's disease, and detection of falls.

Keywords: Internet of Things, healthcare.

Lista de Figuras

2.1	Esquema geral de arquitetura IoT	4
2.2	Arquitetura básica de um microcontrolador.	5
2.3	Topologias de rede estrela e mesh.	10
2.4	Dashboard típica de sistemas IoT.	15
2.5	Exemplo de gráfico de monitoramento IoT.	16
2.6	Exemplo de fontes de dados.	17
3.1	Esquema de arquitetura de rede LoRaWAN	21
3.2	(a) Sensor ECG, (b) sensor de pulso e saturação de oxigênio (SpO ₂) e (c) sensor de temperatura corporal	22
3.3	Metodologia de aquisição e análise de dados.	22
3.4	Sistema geral (sem os sensores).	23
3.5	Dados do sensor ECG.	23
3.6	(a) Dados dos sensores de temperatura e (b) de SpO ₂	24
3.7	Elevação do segmento ST do eletrocardiograma.	27
3.8	Arquitetura do sistema.	28
3.9	Capturas de tela do aplicativo criado. Interface de coleta de dados dos sensores (à esquerda), e ECG e temperatura em tempo real (à direita).	29
3.10	Redução de ruído no sinal de ECG a partir da remoção de desvio da linha de base.	30

3.11	Redução de ruído no sinal de ECG utilizando suavização. . .	31
3.12	Arquitetura do sistema IoT de monitoramento de aldeídos. . .	33
3.13	Diagrama de blocos do sistema eletrônico.	34
3.14	Encapsulamento do dispositivo. (A) uma ilustração 3D do projeto do dispositivo <i>wearable</i> e (B) protótipo montado. .	35
3.15	Sistema completo. (A) protótipo do dispositivo <i>wearable</i> e smartphone com o aplicativo, (B) nuvem, e (C) visualização dos dados em um navegador de internet.	36

Lista de Tabelas

2.1	Modelo OSI de 7 camadas.	7
3.1	Especificações do padrão LoRa.	21
3.2	Métricas para aquisições de dados.	22
3.3	Comparação dos valores obtidos com os valores esperados.	25
3.4	Comparação entre tecnologias de comunicação sem fio.	26

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Descrição
2G	<i>Second Generation</i>
3G	<i>Third Generation</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	<i>Fourth Generation</i>
4PSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
6LoWPAN	<i>IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks</i>
8PSK	<i>Eight-Phase Shift Keying</i>
AD	Analógico-Digital
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
AP	<i>Access Point</i>
AppSKey	<i>Application Session Key</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
BPM	Batimentos por minuto
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
ECG	Eletrocardiograma
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

Abreviatura	Descrição
GFSK	<i>Gaussian Frequency-Shift Keying</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid-Crystal Display</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LOS	<i>Line Of Sight</i>
LPWA	<i>Low Power Wide Area</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
LWC	<i>Lightweight Cryptography</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NB-IoT	<i>Narrow-Band IoT</i>
NwkSKey	<i>Network Session Key</i>
OSHA	Administração de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos
OSM	<i>Open Systems Interconnection</i>
PIB	Produto Interno Bruto
ppb	Partes por bilhão
ppm	Partes por milhão
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RFID	<i>Radio-frequency identification</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
SF	<i>Spreading Factor</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>

Abreviatura	Descrição
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
ZC	<i>ZigBee Coordinator</i>
ZED	<i>ZigBee End Device</i>
ZR	<i>ZigBee Router</i>

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos Gerais	2
1.2	Estrutura do Trabalho	2
2	Arquitetura IoT	3
2.1	Dispositivos IoT	4
2.1.1	Sensores e Atuadores	4
2.1.2	Unidade de Controle	5
2.1.3	Consumo de Energia	6
2.2	Comunicação	6
2.2.1	Protocolos de Internet para IoT	8
2.2.2	Topologias de Rede	9
2.2.3	Longo alcance	9
2.2.4	Médio alcance	12
2.2.5	Curto alcance	14
2.3	Análise de dados	15
2.3.1	Dados	16
2.3.2	Segurança	16
3	Estudos de Caso	19

3.1	Monitoring of the Human Body Signal through the Internet of Things (IoT) Based LoRa Wireless Network System . . .	20
3.1.1	Metodologia	20
3.1.2	Resultados e Discussão	23
3.1.3	Segurança	25
3.1.4	Outras tecnologias	26
3.1.5	Conclusão	26
3.2	A Wireless Early Prediction System of Cardiac Arrest through IoT	27
3.2.1	Arquitetura do Sistema	27
3.2.2	Avaliação do sistema	28
3.2.3	Análise de resultados	29
3.2.4	Conclusões	31
3.3	A wearable IoT aldehyde sensor for pediatric asthma research and management	32
3.3.1	Motivação	32
3.3.2	Materiais e metodologia	32
3.3.3	Resultados	34
3.3.4	Conclusão	36
3.4	Outros trabalhos	37
4	Conclusão	41
	Referências bibliográficas	43

CAPÍTULO 1

Introdução

Cuidados com a saúde são indispensáveis à promoção da qualidade de vida e do bem estar da população. O acesso a terapias e medicamentos é capaz de tornar a vida das pessoas mais fácil e menos dolorosa, possibilitando um envelhecimento saudável. No geral, uma sociedade saudável é capaz de gerar impactos econômicos positivos em seus respectivos países.

Atualmente, o cenário dos serviços de saúde passa por desafios diversos. Os altos gastos com saúde em tratamentos, instalações e treinamento de pessoal, tecnologias subutilizadas, e medicamentos perdidos por condições inapropriadas de armazenagem, prejudicam o desenvolvimento e a oferta desse tipo de serviço à população. Por exemplo, em 2016, foram gastos US\$ 7,5 trilhões com saúde, representando cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial [1], fatia significativa dos orçamentos dos países do globo.

Soluções para esses e outros problemas presentes em sistemas de saúde têm sua possível resposta na intersecção dos serviços atuais com a tecnologia. A modernização dos procedimentos de saúde com a tecnologia de informação torna-se cada vez mais atraente e factível. A Internet das Coisas (IoT, do inglês: *Internet of Things*) tem na área

da saúde uma grande aplicabilidade, sendo capaz de automatizar, baratear, e otimizar dezenas de processos.

IoT é uma rede de dispositivos conectados através da internet, capaz de monitorar, atuar, se comunicar e armazenar informações. Em [2], IoT foi definida como a interseção do meio digital com o meio físico. Em outras palavras, IoT pode ser definida como uma rede de objetos físicos (como eletrodomésticos, veículos, sensores, etc) capaz de reunir e transmitir dados através da internet.

Dispositivos baseados em IoT têm a capacidade de automatizar processos médicos, tornando menores os custos de operação e o tempo de aquisição de dados. Tarefas como medir sinais vitais de pacientes, auxiliar no diagnóstico, e controlar a administração de medicamentos, são algumas das benfeitorias atreladas à modernização da saúde com soluções IoT.

1.1 Objetivos Gerais

O presente documento tem como objetivo conceder uma visão geral da estrutura de um sistema de IoT, abordando tipos de sensores, padrões de comunicação e sistemas utilizados. Casos de uso e estudos relacionados ao emprego de IoT em sistemas de saúde também compõem esta produção.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi dividido em três partes, iniciando com uma descrição geral da arquitetura de um sistema IoT no Capítulo 2, onde são abordados diferentes sensores, tecnologias de comunicação e sistemas que fazem parte da IoT.

Na sequência, é feita uma análise de alguns casos onde IoT se aplica à medicina, realizando uma abordagem profunda a três trabalhos acadêmicos. Na última subseção do Capítulo 3, são discutidos, de maneira superficial, outros trabalhos realizados que contribuem para o contexto de IoT para saúde.

Finalizando o trabalho com o quarto capítulo, são trazidas as conclusões sobre o estudo feito e discutidas possíveis adaptações para que IoT faça cada vez mais parte da rotina dos cuidados de saúde.

CAPÍTULO 2

Arquitetura IoT

A IoT pode ser definida como a interseção dos meios físico e digital. Mais especificamente, IoT conecta coisas do cotidiano (como veículos, sensores, etc) através da Internet, permitindo a troca de informações, transferência de dados, medições, monitoramento, e acionamento remotos.

Dispositivos interconectados passam a ser capazes de coletar e armazenar dados, realizar medições com sensores, acionar atuadores, e até aplicar algoritmos de tomada de decisão com base nos dados obtidos.

Muitas arquiteturas de sistemas de IoT são definidas na literatura. Dunko et al. [2] determinam uma arquitetura básica de IoT, contendo cinco diferentes estágios sequenciais: coisas físicas (do inglês: *physical things*), canais de comunicação, software, operações e dados. A estrutura proposta por Duan et al. [3], define a hierarquia IoT em três camadas: aplicação e serviço, rede, e camada de percepção. A camada de aplicação e serviço responde diretamente às necessidades do usuário. Já a camada de rede transmite à camada de aplicação e serviço os dados coletados na camada de percepção. Os autores em [4] oferecem uma arquitetura similar, partindo do nível inferior de dispositivos IoT, passando por dispositivos de rede, gateway IoT, armazenamento

em nuvem, chegando finalmente na camada superior, de análise de Big Data.

Neste capítulo, dividiremos o estudo da arquitetura IoT em três camadas, separadas em subseções abordando cada uma delas. Como mostra a Figura 2.1, foram definidas as seguintes categorias: dispositivos IoT, canais de comunicação, e análise de dados.

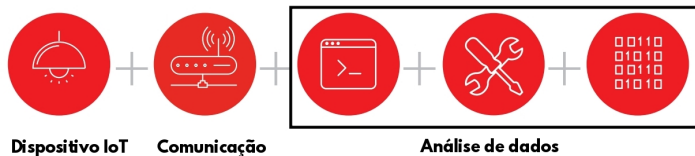


Figura 2.1: Esquema geral de arquitetura IoT. Fonte: [2] (adaptado)

2.1 Dispositivos IoT

Um dispositivo IoT pode ser definido como um hardware conectado a um ou mais sensores que coletam dados, para então serem transmitidos através da internet. Esses dispositivos podem fazer parte de sistemas maiores, como em indústrias e setores agrícola e médico [5].

São os dispositivos IoT os responsáveis por concentrar os dados medidos pelos sensores que serão enviados através de um protocolo de comunicação sem fio a uma central de controle, onde os dados serão interpretados e submetidos a algoritmos de tratamento de dados.

2.1.1 Sensores e Atuadores

Os sensores, que são transdutores, tem como papel traduzir fenômenos físicos em impulsos elétricos que podem ser interpretados e lidos pela unidade de controle. A partir deles são medidos, por exemplo, parâmetros como consumo de energia, dados vitais de um paciente hospitalizado, e o nível de agrotóxicos em uma plantação. Com o desenvolvimento de novos materiais e da nanotecnologia, sensores passam a apresentar melhor acurácia nas medições, diminuição de custos, e possibilidade de medir parâmetros antes impossíveis [2].

Existem diversos tipos de sensores: temperatura, umidade, pressão, corrente elétrica, saturação de oxigênio no sangue, etc. Os atuadores

também são transdutores e tem a tarefa de atuar fisicamente a partir de um sinal elétrico em sua entrada. Exemplos de atuadores são motores elétricos e sistemas hidráulicos.

Em aplicações de saúde, por exemplo, a precisão das medidas realizadas é fundamental, podendo definir se um paciente vive ou morre. Dessa forma, os sensores possuem grande responsabilidade de entregarem os valores reais para uma futura análise. Sob esse contexto surge a calibração dos sensores. A calibração dos sensores deve ser realizada periodicamente

Para calibrar um sensor, são necessárias medições em diferentes circunstâncias conhecidas. No caso de um sensor de temperatura, a título de exemplo, podem ser medidas as temperaturas da água nos seus pontos de fusão (0 °C) e ebulição (100 °C), levando-se em consideração a pressão atmosférica [6].

2.1.2 Unidade de Controle

Os dispositivos IoT geralmente realizam tarefas simples de medição e envio de dados sem tratamento para a unidade de controle. Nesta são agrupadas diversas medições de vários sensores. Os dados são analisados para, então, a unidade de controle tomar uma decisão.

A maioria dos dispositivos IoT possui um microcontrolador para coordenar essas tarefas. Na Figura 2.2 é mostrada uma arquitetura geral de um microcontrolador. Ele possui uma unidade de processamento (microprocessador), memórias ROM, RAM e Flash, e portas de entrada e saída.

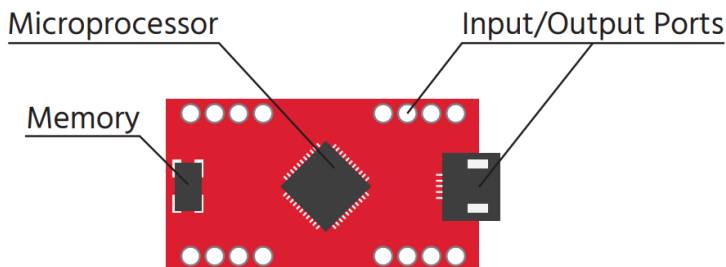


Figura 2.2: Arquitetura básica de um microcontrolador. Fonte: [2]

Características como velocidade de relógio (do inglês: *clock speed*),

quantidade de memória, consumo de energia, tensão de operação, número de entradas e saídas e interface de controle, devem ser levadas em consideração na hora de decidir qual microcontrolador usar em um projeto de IoT.

2.1.3 Consumo de Energia

Dispositivos IoT geralmente são alimentados por baterias ou fontes de energia do ambiente [7]. Sensores, atuadores, unidades de controle e rádios consomem um percentual de energia que deve ser levado em conta na hora de escolher os componentes para um sistema.

Quanto mais dados são coletados e analisados, mais precisa é a informação obtida, mas maior é o consumo de energia do sistema [8]. Neste trabalho, os autores também apontam que o consumo de energia de um dado nó de um sistema IoT é inversamente proporcional ao seu tempo de suspensão (quando o sensor não está medindo nem transmitindo nenhum dado), e todos os nós consomem uma quantidade de energia em seus modos ativo e de suspensão.

O *duty cycle* mostra-se como estratégia de economia de energia para dispositivos IoT, onde os nós vão para o modo de suspensão (do inglês: *sleep mode*) por longos períodos de tempo [9].

2.2 Comunicação

A comunicação de sistemas IoT se dá através da combinação entre protocolos - como o Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo da Internet (TCP/IP, do inglês: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) - específicos e um método para conectividade.

A internet é baseada em comunicações TCP/IP e opera usando o modelo OSI (do inglês: *Open Systems Interconnection*) de 7 camadas mostradas na Tabela 2.1.

Modelo OSI de 7 camadas	
Camada	Função
7	Aplicação
6	Apresentação
5	Sessão
4	Transporte
3	Rede
2	Enlace
1	Física

Tabela 2.1: Modelo OSI de 7 camadas. Fonte: [10]

A seguir são explicadas as funções de cada camada do modelo da Tabela 2.1 acima.

Camada 7: Aplicação

Esta camada é a mais próxima dos usuários, e que a maioria deles enxerga. Aplicativos que rodam na Camada 7 são os que apresentam interface com o usuário, como navegadores web e serviços de email.

Camada 6: Apresentação

Na camada de apresentação os dados de entrada e saída são convertidos de um formato a outro para apresentação. Em outras palavras, a Camada 6 “apresenta” os dados para o aplicativo ou para a rede. A criptografia e a descryptografia são exemplos de conversão de formatos que ocorrem nesta camada.

Camada 5: Sessão

A camada de sessão configura e autentica, coordena (quanto tempo um sistema deve esperar por uma resposta, por exemplo) e mantém e encerra conversas entre dispositivos. É aqui que normalmente operam os protocolos CoAP e MQTT.

Camada 4: Transporte

O transporte, quarta camada do modelo OSI, coordena a transferência de dados entre *end systems* e *hosts*, definindo a quantidade de dados a enviar, a que velocidade, para qual destino, etc. O principal exemplo dessa camada é o TCP, usado para a maioria das aplicações web.

Camada 3: Rede

A camada de rede é responsável pelo encaminhamento de pacotes. É nesta camada que o IP atua e onde o endereço IP é gerado.

Camada 2: Enlace

Essa camada é responsável por transmitir dados nó a nó e por detectar e corrigir erros de pacotes que podem ocorrer na Camada física.

Camada 1: Física

Essa camada define as características físicas e elétricas do sistema. Inclui desde o tipo de cabo, o link de radiofrequência, layout dos pinos, etc.

2.2.1 Protocolos de Internet para IoT

Os protocolos de Internet comuns como o TCP/IP são ineficientes e incompatíveis com o perfil de baixo consumo de energia de IoT. Os mais comuns para aplicações de IoT são o MQTT (do inglês: *Message Queuing Telemetry Transport*) e o CoAP (do inglês: *Constrained Application Protocol*) [2]. A seguir, são trazidas algumas características de MQTT e CoAP.

MQTT

O MQTT é um protocolo de sistema de mensagens com padrão *publish/subscribe*, com suporte para comunicação assíncrona entre as partes. Leve e simples, o MQTT foi projetado para dispositivos com restrições e redes de baixa largura de banda, alta latência ou não confiáveis, como os hardwares presentes em sistemas de IoT [11].

CoAP

CoAP é um protocolo cliente/servidor que fornece um modelo de interação individual de *request/report*. O CoAP é compatível nativamente com a Internet e, como o MQTT, é comercialmente suportado e apresenta um rápido crescimento em soluções IoT [2].

2.2.2 Topologias de Rede

Estrela

A topologia de rede estrela possui um nó central que gerencia a conexão com os demais nós. Esse nó central, chamado ponto de acesso (AP, do inglês: *Access Point*), se conecta à Internet e fornece acesso a todos os outros nós.

Mesh

Diferentemente de uma rede estrela, uma rede mesh permite que nós sejam interconectados entre si. Essa topologia confere robustez, garantindo mais de um caminho para uma mensagem ser encaminhada de um determinado nó para o AP, mas cobra um preço maior em termos de consumo e complexidade de roteamento.

Na Figura 2.3 são ilustradas as topologias de rede estrela e mesh.

2.2.3 Longo alcance

Durante o início das aplicações de IoT, as redes de celulares eram utilizadas para conectividade de longo alcance. Embora essas apresentem estabilidade de rede e protocolos e interfaces bem definidos, o uso dessas redes se mostrava caro. Características como transmissão de grandes

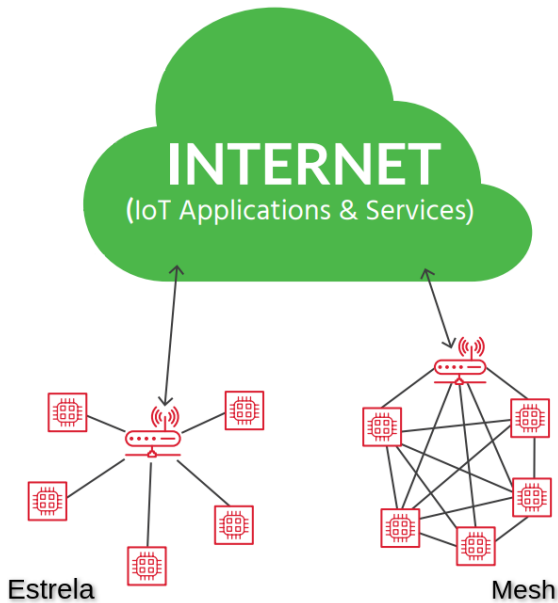


Figura 2.3: Topologias de rede estrela e mesh. Fonte: [2] (adaptado)

volumes de dados e baixa latência, alto consumo de energia, protocolos e interfaces difíceis de personalizar para aplicações específicas, e processos de certificação demorados e dispendiosos, despertaram a necessidade de utilizar soluções alternativas para comunicações de longo alcance.

Novas redes do tipo longo alcance e baixa potência (LPWA, do inglês: *Low Power Wide Area*) estão surgindo para favorecer aplicações IoT, por apresentarem boa cobertura de rede de rádio em locais de difícil acesso, e por consumirem pouca energia.

NB-IoT

O NB-IoT (do inglês: *Narrow-Band IoT*) é uma das soluções mais comuns do espectro licenciado LPWA para IoT, capaz de conectar de forma eficiente dispositivos a redes móveis, consumir pouca energia e apresentar uma excelente cobertura de rádio.

Os principais fabricantes de dispositivos móveis, chipsets e módulos oferecem suporte ao NB-IoT, permitindo que ele coexista com redes móveis celulares (2G, 3G e 4G).

Como os celulares, os dispositivos NB-IoT podem se mover por uma rede sem fio sem interrupções. No Capítulo 3 o NB-IoT é abordado na prática, em uma aplicação na área da saúde.

Uma série de vantagens do NB-IoT podem ser citadas, como: (a) utilização de redes já existentes, (b) padrões abertos, garantindo maior acesso dos usuários à essa tecnologia, e (c) suporte da indústria, já que o NB-IoT é um produto das tecnologias 3GPP existentes. Entre as desvantagens podem ser citados o pagamento de *royalties* e prejuízo à vida útil da bateria pelos efeitos de sincronização do sistema.

A seguir são listadas as principais características do NB-IoT [12]:

- Sistema de banda estreita: 180 kHz
- Baixa taxa de amostragem
- Potência de transmissão: 23 dBm
- Baixo consumo de energia (vida útil de bateria de 10 anos)
- Longo alcance de até 25 km
- Baixo custo
- Rede segura e eficiente

LoRa

LoRa (do inglês: *Long Range*) é uma tecnologia situada no espectro de frequências não licenciadas sub GHz, e possibilita comunicações de longo alcance, baixo consumo energético, e segurança na transmissão de dados. É capaz de se comunicar em até 40 km em áreas rurais e 5 km em áreas urbanas [13], mas para alcançar distâncias longas é preciso utilizar taxas de dados baixas, na ordem de centenas de bps.

A LoRa Alliance desenvolveu um protocolo aberto baseado em LoRa chamado LoRaWAN [2]. A padronização também permite que dispositivos e servidores se comuniquem sem problemas entre si. As principais características da tecnologia LoRa são mostradas a seguir:

- Sub GHz

- Potência de transmissão pode ser ajustada entre -4 e 20 dBm, mas por limitações de hardware normalmente é limitada entre 2 e 20 dBm [14]
- Usa espalhamento espectral para aumentar o alcance e imunidade a ruídos
- Longo alcance (até 40 km em áreas rurais) [13]
- Suporta taxa de dados de 0,3 a 50 kbps [15]
- Grande capacidade em número de nós por gateway
- Vida útil de bateria além de 10 anos
- Rede segura e eficiente

2.2.4 Médio alcance

Soluções de médio alcance serão consideradas aqui como aquelas que conseguem se comunicar ponto a ponto em até cerca de 100 metros. Todavia, algumas tecnologias podem utilizar a topologia de rede mesh, por exemplo, para alcançarem distâncias maiores.

Padrão 802.15.4

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) desenvolveu a especificação 802.15.4 para suprir a necessidade de uma solução de baixo custo que ofereça suporte a baixas taxas de dados, baixo consumo de energia, segurança e confiabilidade. Esse padrão utiliza vários tipos físicos de rádio, permitindo que padrões como ZigBee sejam construídos sobre esse protocolo [2].

ZigBee

O ZigBee é um protocolo desenvolvido sobre o padrão IEEE 802.15.4, com auto-recuperação (do inglês: *self-healing*), seguro, robusto e largamente utilizado, tendo cerca de 1 bilhão de dispositivos implantados ao redor do mundo [2].

A arquitetura de um sistema ZigBee conta com 3 tipos de dispositivos: um coordenador ZigBee (ZC, do inglês: *ZigBee Coordinator*), roteador ZigBee (ZR, do inglês: *ZigBee Router*), e dispositivo final ZigBee (ZED, do inglês: *ZigBee End Device*).

O ZC é responsável por selecionar a topologia, estabelecer a rede, e administrar as informações de configuração. Ele atua como o gateway da rede, devendo estar ligado a todo tempo.

Os ZRs são a espinha dorsal da rede, necessitando sempre estarem ativos. Eles têm a atribuição de transmitir informações e, eventualmente, podem funcionar como sensores.

Por fim, os ZEDs se encontram na extremidade da rede e são a fonte de dados. Geralmente são alimentados por baterias e são normalmente os dispositivos mais baratos do sistema.

Principais características do ZigBee:

- Frequência de 2,4 GHz para uso global, com 868 e 915 MHz também definidas pelo padrão 802.15.4
- Potência de transmissão máxima entre 5 e 20 dBm [16] [17]
- Vários dispositivos podem compartilhar o mesmo canal de frequência
- Suporta até 65 mil nós
- Alcance de 10 a 100 metros para aplicações Zigbee
- Espalhamento espectral para aumentar o desempenho em ambientes ruidosos, com multipercursos e baixa intensidade de sinal
- Criptografia AES de 128 bits

Wi-Fi

Wi-Fi (do inglês: *Wireless Fidelity*) é um padrão de comunicação pensado para transmitir grandes quantidades de dados por uma rede sem fio. Baseado no padrão IEEE 802.11, o Wi-Fi é principalmente uma tecnologia de rede local (LAN, do inglês: *Local Area Network*) [2] projetada principalmente para permitir acesso sem fio à internet para computadores.

O Wi-Fi opera como uma rede em estrela, onde existe um hub central ao qual todos os dispositivos se conectam. A largura de banda é alta, mas mesmo assim interferências podem ocorrer pela distância do AP ou pela quantidade de usuários conectados.

Algumas das principais características do Wi-Fi são listadas abaixo:

- Opera em banda não licenciada com frequências de 2,4 e 5 GHz

- Potência de transmissão na faixa de 13,5 a 20 dBm [18]
- Padrão seguro
- Alcance típico de 30 a 50 metros, podendo alcançar 100 m
- Taxa de dados de 150 a 200 Mbps (802.11n), e entre 500 Mbps e 1 Gbps (802.11ac)
- Processo de certificação definida pela Wi-Fi Alliance

2.2.5 Curto alcance

Define-se como sendo de curto alcance as soluções com cobertura pequena, como até 30 metros. As tecnologias mais comuns dessa categoria são Bluetooth (ou Bluetooth Low Energy - BLE) e RFID.

Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia bastante difundida no mundo, sendo largamente utilizada em *streaming*, com grandes quantidades de dados sendo transmitidos entre dois dispositivos, refletindo no aumento do consumo de energia. O BLE, diferentemente do Bluetooth tradicional, envia pequenas quantidades de dados, contando com um perfil de baixo consumo de energia, sendo atraente para aplicações de *wearables* [2]. O Bluetooth Smart, como é também chamado o BLE, tem suporte para muitas aplicações de IoT, por seus baixos consumo de energia e latência e robustez.

As diferenças entre as duas tecnologias vão além da sua utilização e das suas transmissão de dados e consumo de bateria. O Bluetooth clássico possui 79 canais, cada um com largura de banda de 1 MHz e taxa de símbolos de 1 Msímbolos/s. O esquema de modulação pode ser GFSK, 4PSK ou 8PSK. Já no BLE o esquema de modulação é GFSK com também 1 Msímbolos/s como taxa de símbolos, e 2 MHz de largura de canal, num total de 40 canais [19].

As principais características do BLE são apresentadas a seguir:

- Opera em banda não licenciada com frequência de 2,4 GHz
- Potência de transmissão dividida por classes:
 - Classe 1: 100 mW (20 dBm)
 - Classe 2: 2,5 mW (4 dBm)

– Classe 3: 1 mW (0 dBm)

- Alcance de até 30 metros
- Taxa de dados de até 2 Mbps (Bluetooth) e 270 kbps (BLE)
- Criptografia AES de 128 bits

2.3 Análise de dados

A capacidade de conectar dispositivos à Internet possibilita que o processamento computacional seja feito remotamente. Com essa situação vem o conceito de nuvem. Na nuvem não há preocupações com limitações de hardware, memória e processamento, consumo de energia e conectividade de rede. É nessa nuvem que é feita a análise dos dados adquiridos pelos dispositivos, que são transmitidos por tecnologias de comunicação, como as citadas anteriormente [2].

Primeiramente os dados são integrados a um software dedicado, para então serem processados e armazenados. Só então os dados são disponibilizados em uma interface gráfica para seres humanos, como painéis de controle, gráficos ou tabelas. As Figuras 2.4 e 2.5 trazem exemplos de interfaces para monitorar dados típicas de aplicações IoT.



Figura 2.4: Dashboard típica de sistemas IoT. Fonte: [20]

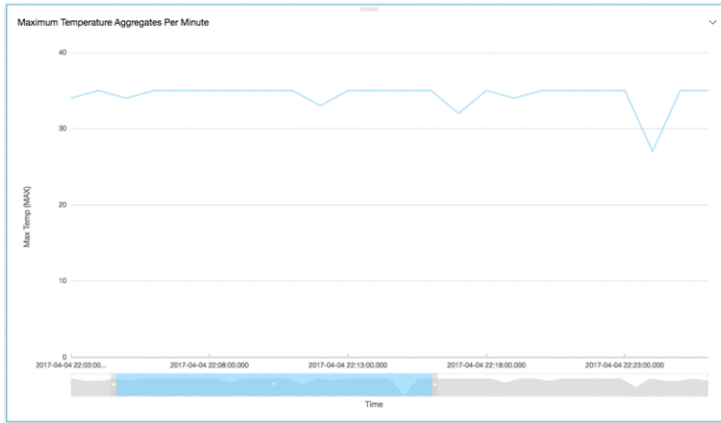


Figura 2.5: Exemplo de gráfico de monitoramento IoT. Fonte: [20]

2.3.1 Dados

O volume de dados gerados por sensores e dispositivos está aumentando a cada dia. Os sistemas tradicionais de banco de dados são ineficientes para armazenar, processar, e analisar esse grande volume de dados (ou Big Data) [4]. Análises desses conjuntos de dados permitem que o dispositivo faça ajustes para proporcionar uma melhor experiência.

Para se ter uma dimensão da complexidade de um sistema de big data, podemos reunir os dados dos sensores de um sistema IoT com dados de uma empresa. A esse montante, adicionamos outros dados de um outro sistema IoT e dados de fonte pública. Essa é uma visão geral do que é o big data. A Figura 2.6 mostra uma ideia das fontes de dados presentes em um sistema de big data.

Questões surgem a partir das análises feitas de big data. Definir durante quanto tempo um dado deve ser armazenado é importante e pode contribuir para um sistema mais econômico. A privacidade e a segurança dos dados também é fundamental, principalmente em se tratando de dados médicos de pacientes.

2.3.2 Segurança

A segurança das informações é determinante em aplicações de IoT. Dados coletados por sensores por vezes são confidenciais, e sua disse-

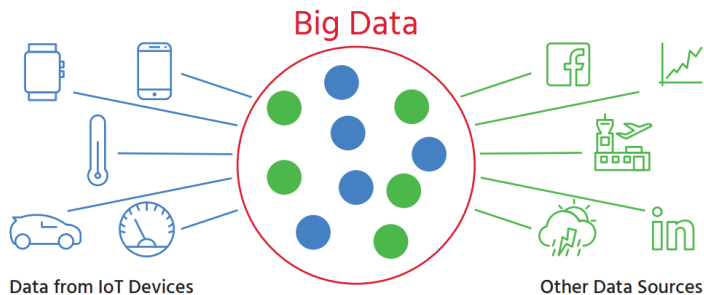


Figura 2.6: Exemplo de fontes de dados. Fonte: [2]

minação pode acarretar em prejuízos financeiros para empresas ou até a morte de um paciente internado em um hospital.

Medidas de segurança em IoT são fundamentais para proteger o sistema e tudo que estiver conectado a ele [2]. Com a grande quantidade de dispositivos IoT no mundo, cuidar da segurança não é uma tarefa fácil. Diversas configurações de hardware e sistemas operacionais são encontradas nesses dispositivos, tornando a tarefa ainda mais complicada.

Dado que sistemas IoT comumente têm limitações de processamento, executar algoritmos pesados de criptografia é muito difícil. Para piorar, alguns dispositivos não são concebidos para atualizar seus firmwares regularmente.

A maioria dos dispositivos habilitados para IP mantém uma porta aberta para mensagens, ficando sujeitos a ataques. Entretanto, se o dispositivo puder dar suporte à criptografia de chave pública ou de chave privada, seu canal de comunicação poderá usar a criptografia TLS/SSL [2]. Também existem os certificados digitais para garantir a autenticidade nas comunicações, que expiram após um certo período de tempo.

Outro modelo de criptografia largamente utilizada em IoT é o Padrão de Criptografia Avançado (AES, do inglês: *Advanced Encryption Standard*). O AES utiliza apenas uma chave de criptografia de diferentes comprimentos. A criptografia AES é um algoritmo eficiente, cuja força se encontra em suas opções de comprimento de chaves [21]. A criptografia leve (LWC, do inglês: *Lightweight Cryptography*) também é bastante utilizada em soluções IoT por ser adequada a sistemas com

recursos limitados [22].

A partir daí, implementações de inteligência artificial, aprendizado de máquina, e algoritmos de tomada de decisão podem ajudar a classificar os dados crus, identificando possíveis anomalias em alguma medição. Na última subseção do Capítulo 3 é analisado um caso onde um algoritmo analisa os dados de um paciente e, quando detectada alguma anomalia, envia uma mensagem a um médico alertando-o sobre a situação atípica.

CAPÍTULO 3

Estudos de Caso

Neste capítulo são feitas abordagens profundas de três trabalhos acadêmicos relacionados com IoT em aplicações médicas, além de considerações sobre outras literaturas da área.

O primeiro, intitulado “Monitoring of the Human Body Signal through the Internet of Things (IoT) Based LoRa Wireless Network System” [23] traz um sistema de monitoramento de sinais de ECG, saturação de oxigênio e temperatura corporal, utilizando sensores biomédicos, uma placa de desenvolvimento e LoRa.

Na sequência, o estudo nomeado “A Wireless Early Prediction System of Cardiac Arrest through IoT” [24] discute um sistema IoT de previsão de ataques cardíacos a partir do monitoramento constante de sinais do coração e da temperatura corporal. São utilizados sensores de ECG e temperatura, um módulo BLE e um smartphone.

Por fim, no trabalho de Baichen Li et al [25], “A wearable IoT aldehyde sensor for pediatric asthma research and management” é proposto um dispositivo *wearable* de baixo consumo, capaz de medir os níveis de aldeído no ar, indicado para indivíduos com asma. O sistema completo conta com um dispositivo do tamanho de um relógio inteligente e um smartphone, um serviço de nuvem, e uma dashboard para

visualização gráfica dos dados coletados.

Na última seção deste capítulo, são expostos outros estudos acadêmicos sobre sistemas IoT aplicados à saúde, como desafios de sistemas com NB-IoT aplicados à saúde, detector de quedas, monitor de temperatura para pacientes hospitalizados, modelos de criptografia para IoT, detector de ataques cardíacos, e monitor de pacientes com mal de Parkinson.

3.1 Monitoring of the Human Body Signal through the Internet of Things (IoT) Based LoRa Wireless Network System

Islam et al. [23], apresentam um sistema de monitoramento de saúde baseado em IoT, empregando sensores biomédicos, um microcontrolador, um *shield* de desenvolvimento MySignals e LoRa. Definem que sistemas de IoT para cuidados de saúde podem ser separados em três grandes áreas:

- Atendimento clínico: pacientes hospitalizados que necessitam de cuidados contínuos
- Monitoramento remoto: idosos, crianças ou casos especiais que necessitem de atenção contínua
- Conscientização de contexto (do inglês: *context-awareness*): identificação da condição geral do paciente (auxílio no diagnóstico)

Os autores também fazem uma comparação do seu sistema de monitoramento com outros trabalhos relacionados.

3.1.1 Metodologia

A Figura 3.1 representa o diagrama de blocos geral do sistema. Sensores biomédicos, como sensor de eletrocardiograma (ECG), sensor de pulso e saturação de oxigênio (SpO₂), e sensor de temperatura corporal, são conectados ao MySignals e ao Arduino Uno para coletarem os dados do paciente via cabo e Bluetooth. O Arduino e o MySignals estão conectados com LoRa através do shield de rádio multiprotocolo.

A Tabela 3.1 na sequência apresenta especificações do padrão LoRa utilizadas no projeto.

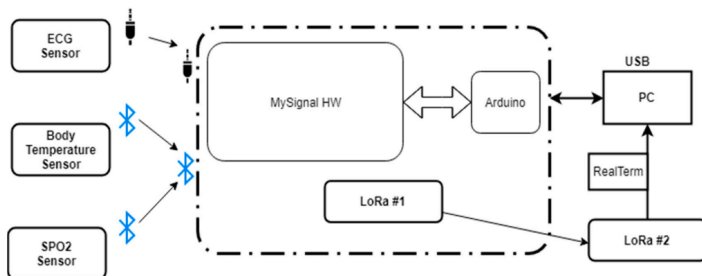


Figura 3.1: Esquema de arquitetura de rede LoRaWAN. Fonte: [23]

Característica	Especificação
Módulo	SX1272
Banda de Frequência Dupla	902-928 MHz (EUA)
Potência de Transmissão	25 mW
Sensibilidade	-134 dBm
Canais	13 (900 MHz)
Alcance	LOS = 21 km (13.4 m)

Tabela 3.1: Especificações do padrão LoRa. LOS: Linha de visada (do inglês: *Line of sight*) Fonte: [23]

A banda utilizada de 900 MHz (ISM), com taxa de dados de 12,5 kbps e fator de espalhamento (SF, do inglês: *Spreading Factor*) igual a 8. Assim, LoRa se conecta com o shield de rádio multiprotocolo, que age como um shield de interconexão para o Arduino e é projetada para conectar dois módulos de comunicação simultaneamente. Esse shield pode conectar qualquer módulo wireless para Arduino (como Bluetooth, ZigBee, WiFi, RFID, LoRa, etc). A Figura 3.2 contém os sensores biomédicos utilizados no trabalho, que foram selecionados por capturarem parâmetros que podem ser estimados.

Os sensores escolhidos têm taxa de dados entre 8 e 10 kbps [26], cuja taxa de transmissão é aceitável para o padrão LoRa, que é de até 115,2 kbps [23].

Na Tabela 3.2, os autores definem métricas para as aquisições de dados pelos sensores, e na Figura 3.3 é exposta a metodologia de análise de dados fisiológicos. Primeiramente o sensor biomédico coleta os dados

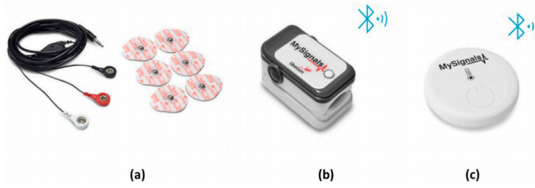


Figura 3.2: (a) Sensor ECG, (b) sensor de pulso e saturação de oxigênio (SpO₂) e (c) sensor de temperatura corporal. Fonte: [23]

e os envia, por cabo (sensor ECG) ou Bluetooth (sensores de pulso e de temperatura corporal) ao Arduino Uno. Então, os dados podem ser observados via monitor serial do próprio Arduino, ou enviados por LoRa até um hiper-terminal chamado RealTerm.

Métrica	Definição	Unidade
Frequência cardíaca	Número de batimentos cardíacos por minuto	Batimentos por minuto (BPM)
Frequência de pulso	Número de pulsos cardíacos	Batimentos por minuto (BPM)
Saturação de oxigênio	Percentual de oxigênio no sangue	Porcentagem (%)
Temperatura corporal	Temperatura do corpo do paciente	Graus celsius (°C)

Tabela 3.2: Métricas para aquisições de dados. Fonte: [23]

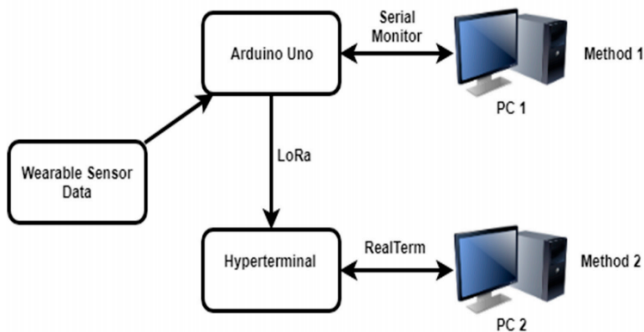


Figura 3.3: Metodologia de aquisição e análise de dados. Fonte: [23]

3.1.2 Resultados e Discussão

Com os elementos mostrados na Figura 3.4, os autores pretendem coletar dados do corpo humano e avaliar o desempenho dos sensores e da plataforma sem fio com o intuito de validar a ideia de sistemas de monitoramento de saúde baseado em IoT. Na mesma figura, encontra-se o gateway Waspote, uma plataforma de sensor sem fio open source de baixíssimo consumo, que suporta tecnologias LPWAN de 868 ou 900 MHz. Os experimentos de coleta de dados dos sensores de ECG e de temperatura e SpO₂ são mostrados nas figuras 3.5 e 3.6, respectivamente.

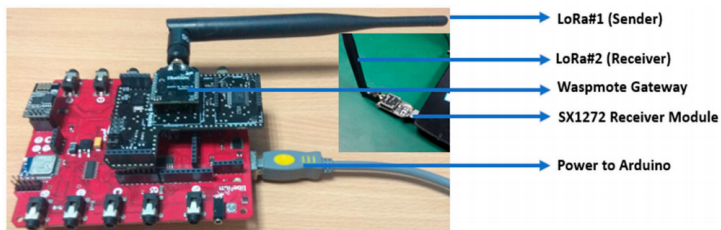


Figura 3.4: Sistema geral (sem os sensores). Fonte: [23]

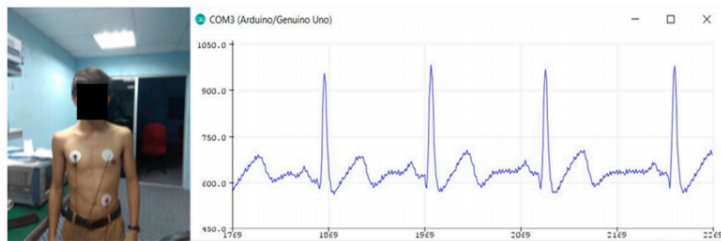


Figura 3.5: Dados do sensor ECG. Fonte: [23]

Parâmetro	Valor típico	Valor obtido	Problemas
Temperatura corporal	36,5-37,5 °C	35,10-35,40 °C	Ambiente climatizado
Frequência de pulso	60-100 bpm	55-62 bpm	Não
Saturação de oxigênio	96-99 %	96-100 %	Não
Valores do ECG (Frequência cardíaca)	60-100 bpm	60-100 bpm	Não
Valores do ECG (Intervalo de tempo)	0,1-0,2 s	0,1 s	Não

Tabela 3.3: Comparação dos valores obtidos com os valores esperados. Fonte: [23] (adaptado)

e da saturação de oxigênio se mostraram praticamente precisas, alcançando 99% de confiabilidade, enquanto os dados de temperatura corporal chegaram a 95%.

Uma limitação apontada pelos autores é relativa ao ciclo de trabalho (do inglês: *duty cycle*), sendo o do LoRa inferior a 1%. Contam que, se muitos dispositivos enviarem pacotes ao mesmo tempo, podem ocorrer perdas de pacotes ou sobrecarga de rede. Porém, na fase experimental, foi utilizado um único canal e os dados obtidos em diferentes momentos. Outra questão destacada é o consumo de energia majoritariamente concentrado nas unidades de controle (Arduino Uno), de sensores (My-Signals) e de RF (LoRa). Foi realizada uma análise de alcance versus tempo de transmissão que revelou que o tempo de transmissão e recepção aumenta à medida que a distância aumenta. Isso também aumenta o consumo de energia pois a taxa de dados se torna mais lenta.

3.1.3 Segurança

Os autores discutem a necessidade da segurança dos dados em soluções IoT. Assim, em aplicações médicas, o vazamento de informações sigilosas de pacientes poderia acarretar em constrangimentos e agravamento do quadro de saúde por uma dosagem errada de medicamento, podendo levar o paciente até a óbito. Dado que os principais ataques a esses sistemas ocorrem no trânsito de dados, a Semtech Corporation (empresa de desenvolvimento do LoRa) criou uma solução de criptografia

de ponta a ponta AES-128 (do inglês: *Advanced Encryption Solution*). O AES-128, também conhecido como *AppKey*, criptografa todos os dados, garantindo privacidade ao sistema. Ademais, o *AppKey* gera duas chaves denominadas *Network Session Key* (NwkSKey) - que garante a integridade da mensagem, criando uma assinatura específica para cada dispositivo -, e *Application Session Key* (AppSKey) - utilizada para criptografar e descriptografar a carga útil (do inglês: *payload*) dos dados.

3.1.4 Outras tecnologias

A Tabela 3.4 traz uma comparação entre Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee, Wi-Fi e LoRa, no que diz respeito à taxa de dados, alcance de transmissão, consumo de energia e vida útil de bateria. Podemos destacar a superioridade de LoRa no que tange à vida útil de bateria e alcance de transmissão, além de apresentar um perfil de baixo consumo de energia, contudo também é notável que a taxa de dados do padrão LoRa é a menor entre as tecnologias apresentadas.

Tecnologia	Taxa de dados	Alcance de transmissão	Consumo de energia	Vida útil da bateria
BLE	1-2 Mb/s	10 m	40 mA Transmissão; 0,2 mA Standby	1 ano
ZigBee	0,02-0,25 Mb/s	100 m	30 mA Transmissão; 1 μ A Standby	Semana
Wi-Fi	11 Mb/s - 10 Gb/s	<1 km	400 mA Transmissão; 20 mA Standby	Horas
LoRa	290 bps - 50 Kbps	15 km	28-44 mA Transmissão; 1,4 mA Standby	10 anos

Tabela 3.4: Comparação entre tecnologias de comunicação sem fio. Fonte: [23]

3.1.5 Conclusão

O artigo traz um sistema de monitoramento de sinais do corpo humano baseado em IoT, com sensores biomédicos, MySignals e o padrão LoRa. A plataforma MySignals foi conectada a sensores de ECG, temperatura, taxa de pulso e saturação de oxigênio para produzir sinais vitais para posterior análise. O bom desempenho do sistema foi comprovado a partir da comparação dos valores medidos com os valores típicos, apre-

sentando uma confiabilidade de quase 100% para saturação de oxigênio e ECG, e de 95% para a temperatura corporal.

3.2 A Wireless Early Prediction System of Cardiac Arrest through IoT

Em [24], ElSaadany et al. apresentam um sistema IoT para previsão de ataques cardíacos a partir do monitoramento da frequência cardíaca e da temperatura corporal do indivíduo. É proposto um sistema com sensores de ECG e temperatura, um módulo BLE e um smartphone.

3.2.1 Arquitetura do Sistema

A proposta dos autores é que os indivíduos utilizem o dispositivo que contém os sensores, e portem seus smartphones. Assim, os sensores de ECG e temperatura irão constantemente coletar os dados enquanto o usuário realiza suas atividades diárias. Após receber os dados através do BLE, o smartphone é responsável por processar os dados e por classificar a condição de saúde do usuário: em normal ou anormal. Essa classificação é feita a partir de uma série de parâmetros, entre elas a frequência cardíaca (que em um adulto saudável fica entre 60 e 100 bpm [28]) e a elevação do segmento ST do eletrocardiograma (Figura 3.7). Assim, dada alguma anomalia, o sistema notifica o usuário de que ele pode estar prestes a sofrer uma parada cardíaca.

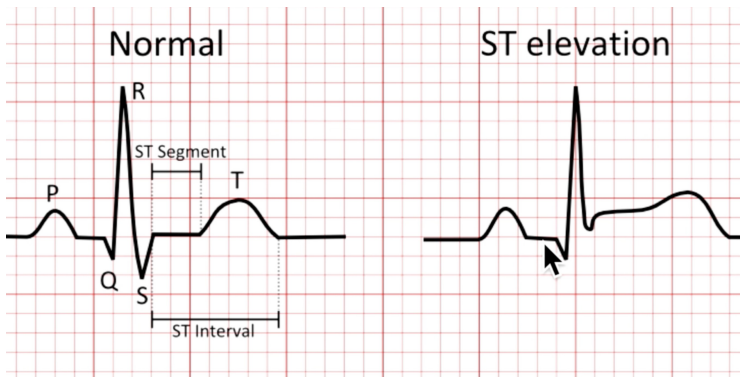


Figura 3.7: Elevação do segmento ST do eletrocardiograma. Fonte: [29]

A Figura 3.8 apresenta a arquitetura do sistema proposto pelos autores. O sistema consiste em sensores de pulso e de temperatura, um Arduino Uno, e um módulo BLE. Os sensores se conectam ao Arduino, que está conectado ao módulo BLE, e funciona como um conversor analógico-digital (AD). Os dados dos sensores são, então, convertidos para a forma digital e são enviados para o smartphone, através do módulo BLE.

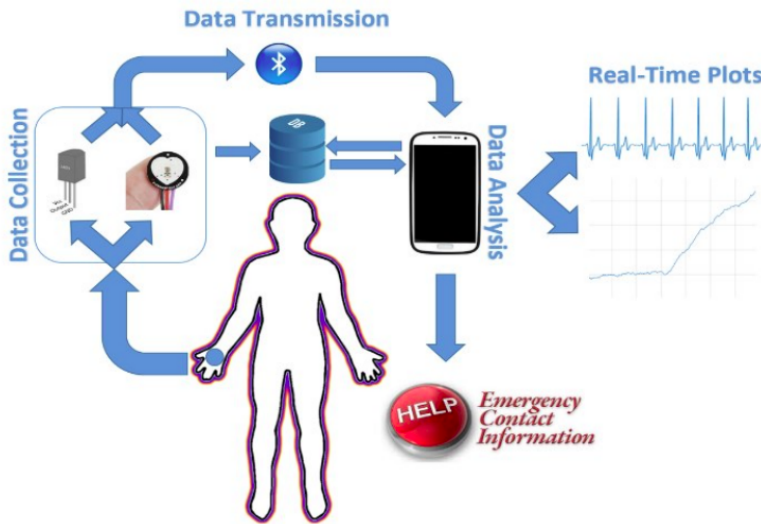


Figura 3.8: Arquitetura do sistema. Fonte: [24]

3.2.2 Avaliação do sistema

Para avaliar o sistema, os autores desenvolveram um protótipo e investigaram o seu desempenho. Os dados foram coletados dos sensores usando um smartphone. Para treinar o sistema, foram feitos testes com 10 indivíduos, de ambos os sexos, com idades entre 21 e 35 anos, e em diferentes ocasiões: sentados, caminhando, e subindo as escadas.

Na Figura 3.9 é mostrado o aplicativo desenvolvido para monitorar os dados de ECG e temperatura em tempo real.

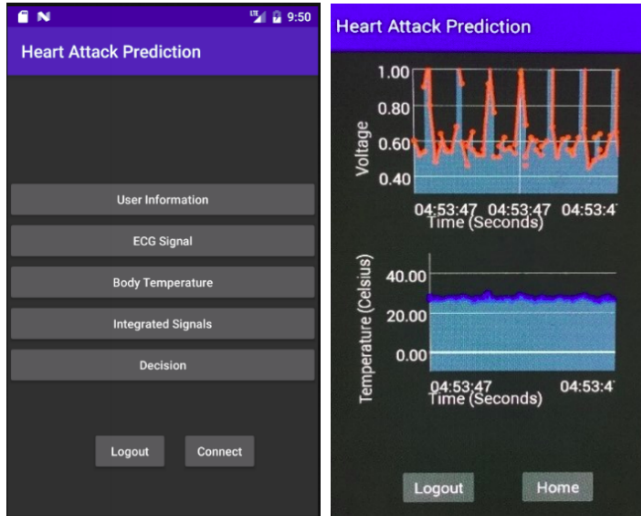


Figura 3.9: Capturas de tela do protótipo proposto. Interface de coleta de dados dos sensores (à esquerda), e ECG e temperatura em tempo real (à direita). Fonte: [24]

3.2.3 Análise de resultados

Nesta subseção, os autores discutem o desempenho do sistema IoT proposto. Para evitar sinais ruidosos, já que um sinal com ruído contém informações que não descrevem precisamente o sinal. E como as variações das temperaturas medidas não apresentam grande importância, o foco é nos sinais de ECG.

Inicialmente os sinais de ECG aparecem com aspecto ondulatório, ocasionado pela respiração ou movimento dos pacientes ou dos equipamentos. É, então, aplicado um filtro passa alta que retorna o sinal para um eixo horizontal, facilitando sua visualização. A Figura 3.10 apresenta a chamada remoção de desvio de linha de base (do inglês: *baseline wander removal*).

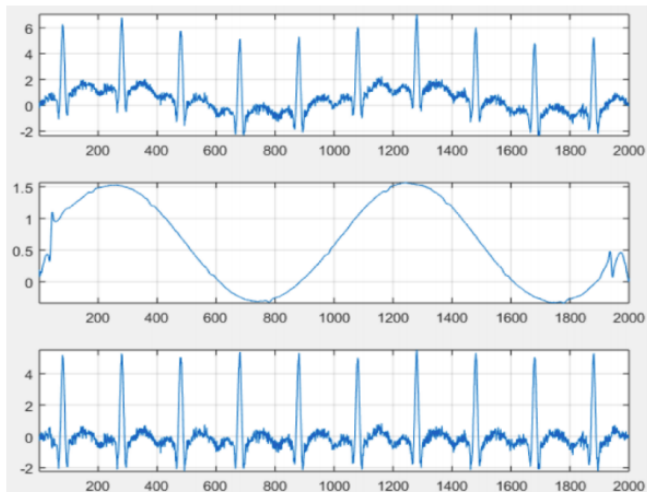


Figura 3.10: Redução de ruído no sinal de ECG a partir da remoção de desvio da linha de base. Fonte: [24]

Essa remoção de desvio da linha de base auxilia na detecção da taxa cardíaca. Mais precisamente, os sinais de ECG podem ser calculados de diversas formas. A maneira selecionada pelos autores é a partir do número de picos QRS do eletrocardiograma por um intervalo de tempo, usando correlação ou transformada de Fourier. Para a correlação, se o sinal estiver com aspecto ondulatório podem ocorrer resultados imprecisos, mas quando o desvio da linha de base é corrigido, a técnica funciona perfeitamente.

No primeiro sinal da Figura 3.11 aparecem as componentes de alta frequência no sinal de ECG. Esse ruído pode prejudicar a precisão na detecção de alguma anormalidade na atividade cardíaca. Por isso, é utilizado um filtro passa baixa para reduzir o ruído de altas frequências, mostrado no segundo sinal.

Os autores apresentam também um algoritmo de previsão - onde estão ainda trabalhando -, utilizado para indicar se o usuário está propenso a um ataque cardíaco. O processo de previsão é dividido em duas abordagens. Na primeira, garantindo que os sinais de temperatura e ECG do paciente estão dentro da faixa considerada normal, o algoritmo foca em detectar flutuações no sinal de ECG, como elevações do

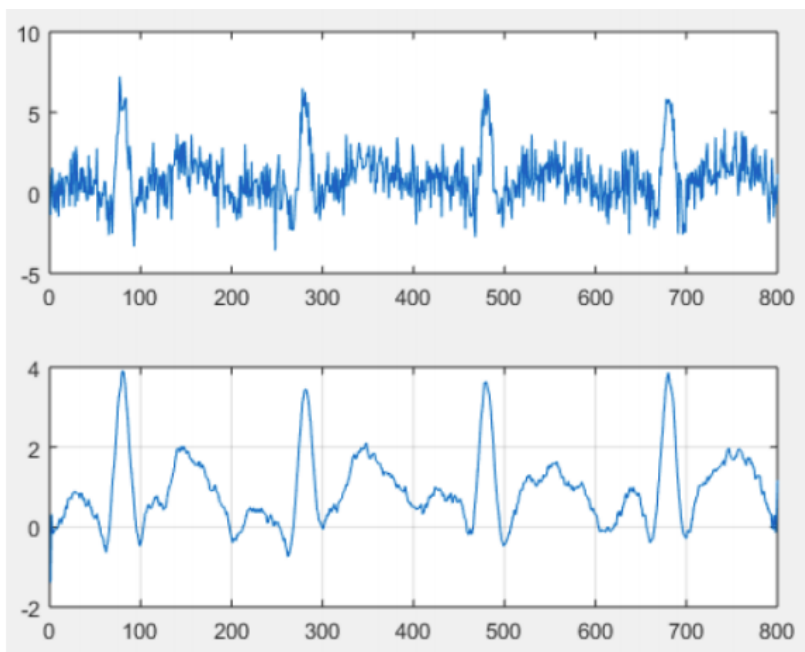


Figura 3.11: Redução de ruído no sinal de ECG utilizando suavização. Fonte: [24]

segmento ST (Figura 3.7). Na segunda abordagem, o aplicativo para smartphones gera um alerta para o usuário que ele pode estar prestes a sofrer um ataque cardíaco.

3.2.4 Conclusões

Neste artigo, os autores desenvolveram um sistema IoT para monitorar os sinais de ECG e da temperatura corporal utilizando smartphones. Foi realizado processamento dos sinais de ECG, a fim de inibir erros de leitura por conta de ruídos de alta frequência, e por ondulações no sinal. Um algoritmo de previsão foi apresentado para atuar na detecção de um ataque cardíaco a partir de anormalidades nos sinais de ECG do usuário. Por fim, os autores planejam testar seu sistema com dados de pessoas idosas que sofrem de problemas cardíacos crônicos.

3.3 A wearable IoT aldehyde sensor for pediatric asthma research and management

Baichen Li et al. [25] propõem um sistema IoT *wearable* capaz de medir a exposição de pacientes com asma a aldeídos, que irritam as vias aéreas e podem gerar crises asmáticas. O dispositivo *wearable* é do tamanho de um relógio inteligente e pode medir os níveis de formaldeído (aldeído mais simples) no ar. O sensor utilizado se comunica por BLE com um smartphone, que funciona como um gateway com um serviço de nuvem, onde os dados podem ser visualizados.

3.3.1 Motivação

A asma é uma das doenças mais comuns em crianças, afetando aproximadamente 6,1 milhões de crianças nos EUA [30]. Fatores como poluição do ar, fumaça de cigarro, e infecções em vias aéreas agem como gatilhos de crises asmáticas. O formaldeído, por exemplo, prejudica o quadro de um paciente asmático, e é encontrado na fumaça de cigarro, carpetes sintéticos, quadros, etc. Os autores destacam que muitos estudos sugerem uma ligação entre a exposição ao formaldeído e crises de asma, mas que até a publicação do artigo, nenhum sistema foi capaz de monitorar continuamente a exposição de um indivíduo ao formaldeído.

3.3.2 Materiais e metodologia

Visão geral

A arquitetura geral do sistema proposto por Baichen Li et al. é ilustrada na Figura 3.12, com três componentes principais: sensor *wearable* de pulso, um gateway compatível com BLE com acesso à Internet (como um smartphone), e uma nuvem para armazenar e analisar os dados.

O dispositivo *wearable* - que utiliza uma célula de combustível eletroquímica para detecção de aldeído, e um sensor CMOS para monitoramento de temperatura e umidade -, foi concebido para ter o tamanho de um relógio inteligente. Quando ativado, o dispositivo mede continuamente as condições do meio com um intervalo entre amostras de 1 dataset por segundo. Os dados coletados são armazenados no próprio dispositivo em uma memória flash.

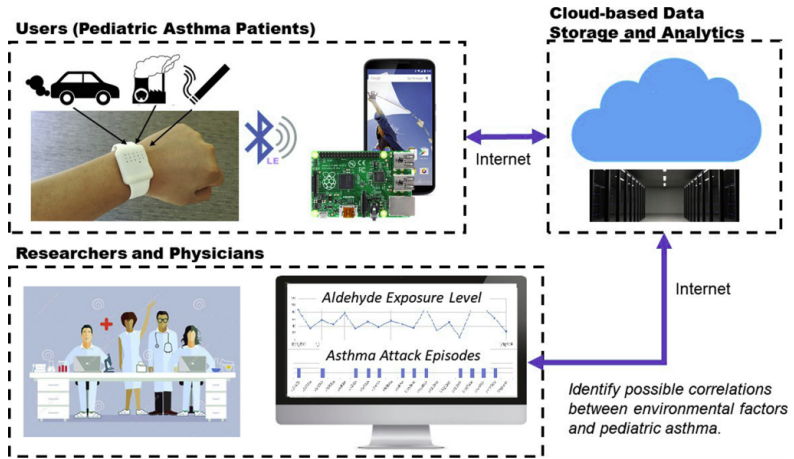


Figura 3.12: Arquitetura do sistema IoT de monitoramento de aldeídos. Fonte: [25]

Para observar os dados em tempo real e o histórico de medições, foi desenvolvido um aplicativo para smartphones. Tal app também carrega os dados em uma nuvem para serem armazenados e visualizados. O serviço de nuvem utilizado foi o Amazon Web Service (AWS).

Sensores

Com base em diretrizes da Agência de Proteção Ambiental (EPA, do inglês: *Environmental Protection Agency*) e da Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA, do inglês: *Occupation Safety and Health Administration*), ambas dos Estados Unidos, os autores definiram um intervalo de detecção de aldeídos entre 30 ppb (partes por bilhão) e 10 ppm (partes por milhão).

O sensor de aldeído de célula de combustível eletroquímica converte energia química em sinais elétricos. Os autores descrevem como é feita a conversão de energia. Com precisão de $\pm 0,3$ °C e $\pm 2\%$ na medição de temperatura e umidade relativa, respectivamente, o sensor de temperatura e umidade foi utilizado pois condições climáticas, como frio e alta umidade, podem ocasionar crises asmáticas. Dessa forma, é necessária uma calibração adequada da célula eletroquímica, a qual foi

feita com o auxílio de um gerador de gases.

Sistema eletrônico

A Figura 3.13 mostra o diagrama de blocos do sistema eletrônico proposto. O formaldeído é captado pelo sensor de aldeído e passa pelo potenciostato, que faz a interface entre o sensor e o conversor analógico-digital (AD) no microcontrolador - de baixo consumo e compatível com BLE.

Ao sistema alimentado por uma bateria recarregável de íons de lítio, foi adicionada uma memória flash de 1 MB. Com um intervalo de amostras de 1 dataset/min, essa memória é capaz de armazenar dados de mais de 100 dias, que os autores julgam ser suficiente.

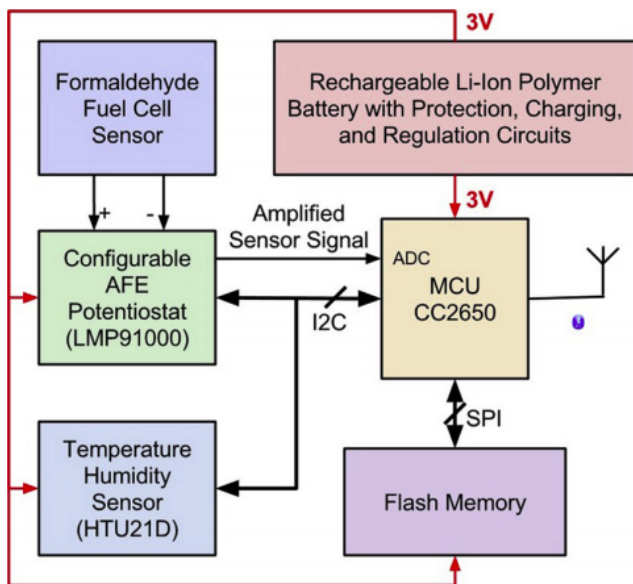


Figura 3.13: Diagrama de blocos do sistema eletrônico. Fonte: [25]

3.3.3 Resultados

O protótipo do *wearable*, ilustrado na Figura 3.14, foi testado em laboratório e apresentou um consumo médio de energia de $900 \mu\text{W}$.

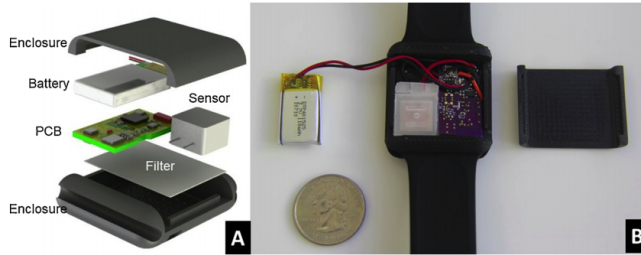


Figura 3.14: Encapsulamento do dispositivo. (A) uma ilustração 3D do projeto do dispositivo *wearable* e (B) protótipo montado. Fonte: [25]

Após o teste de consumo de energia, os sensores do dispositivo foram calibrados com o gerador de gases. Os dados de medição (temperatura, umidade relativa e nível de aldeído) foram coletados continuamente por uma placa Raspberry Pi 3 por meio do módulo BLE, a uma frequência de 1 Hz. Depois de cada experimento, os dados coletados foram analisados com MATLAB. Em seguida, o dispositivo calibrado foi submetido a mais testes para verificar seu desempenho. Como resultado, os autores obtiveram pequenos desvios padrões, que julgaram ser aceitáveis para a aplicação.

Na Figura 3.15.A, é apresentado o aplicativo para smartphone, capaz de exibir dados recebidos através do BLE, recuperar dados anteriores, e enviar dados para um banco de dados na nuvem. Já na Figura 3.15.B é mostrado o sistema de nuvem. Foram utilizados dois softwares para armazenar e analisar os dados: InfluxDB (banco de dados de código aberto projetado para aplicações de IoT), e Grafana (uma dashboard onde é possível traçar gráficos a partir de dados coletados - Figura 3.15.C).

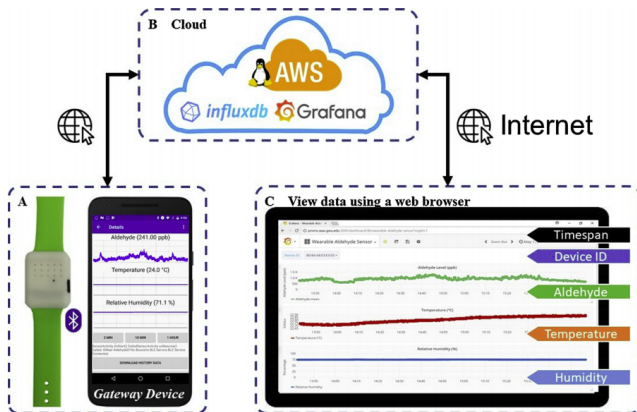


Figura 3.15: Sistema completo. (A) protótipo do dispositivo *wearable* e smartphone com o aplicativo, (B) nuvem, e (C) visualização dos dados em um navegador de internet. Fonte: [25]

3.3.4 Conclusão

Os autores do trabalho descrevem um sistema IoT *wearable* para monitorar o nível de aldeído no ambiente. Um dispositivo do tamanho de um relógio inteligente foi desenvolvido, utilizando sensores de aldeído e temperatura e umidade, e componentes eletrônicos de baixa potência. O consumo médio de $900 \mu\text{W}$ permite que o dispositivo tenha uma autonomia de bateria de mais de uma semana. O sistema completo foi dividido em três partes: dispositivo *wearable* com o smartphone como gateway, serviço de nuvem, e visualização de dados.

Finalizando, os autores sugerem que o sistema IoT desenvolvido seja utilizado por médicos e pesquisadores para monitorar continuamente o nível de exposição de pacientes asmáticos ao aldeído.

3.4 Outros trabalhos

Valach e Macko em seu estudo sobre a possibilidade de utilização de LoRa para detecção de quedas apontam que existe uma solução comercial, chamada Angel4 [31], que utiliza BLE e necessita de um smartphone próximo. Autores de “Exploration of the LoRa Technology Utilization Possibilities in Healthcare IoT Devices” [32], Valach e Macko contam que não acharam sua solução proposta confiável, haja vista que durante os experimentos a estação base utilizada não recebeu dados enviados por um nó colocado no chão ou embaixo de uma mesa, o que torna o sistema inviável para detecção de quedas.

Tran et al. [33] discutem um sistema de detecção de quedas utilizando o acelerômetro de um smartphone, aprendizado de máquina, interface gráfica, e IoT. O algoritmo é treinado para não confundir uma queda com atividades rotineiras, como sentar, pular e caminhar. Caso o usuário caia, uma mensagem é enviada para um responsável através do smartphone. Caso a mensagem tenha sido enviada por engano, isto é, se o evento ocorrido não fora uma queda, é possível que o usuário informe que foi um alarme falso, “ensinando” o algoritmo que tal evento não foi uma queda.

Em [34] é proposto um sistema de monitoramento de temperatura corporal para pacientes hospitalizados, onde são utilizados um sensor de temperatura, um gateway e um módulo ZigBee. O gateway reúne, analisa, armazena e transmite os dados à nuvem, disponibilizando para médicos a situação de temperatura individual de cada paciente.

Tabish et al. [35] estudam uma série de tecnologias de comunicação visando sua aplicação em IoT para saúde. Dentre as métricas de performance, e por apresentarem melhor coexistência com outros padrões sem fio (como Wi-fi), BLE e 802.15.4 com IPv6 (6LoWPAN) foram tomadas para conferência. Fatores como frequência, taxa de dados, distância, consumo de corrente de pico, topologia de rede e segurança foram comparados, concluindo que IEEE 802.15.4/6LoWPAN e BLE são concorrentes próximos em aplicações de baixa potência. Por fim, os autores desenvolveram um sistema para enviar dados de um simulador de ECG via 802.15.4 com IPv6 (6LoWPAN) e BLE. Os sinais de ECG são mostrados e não existe diferença aparente entre as duas transmissões no resultado final.

Gupta et al. [36] propõem um sistema IoT para monitoramento

de sinais de ECG. Os sensores de ECG coletam os dados, que são enviados a um banco de dados, onde podem ser visualizados através de uma interface gráfica. Se, por ventura, a frequência cardíaca de um determinado paciente estiver fora do limite de normalidade estipulado, o módulo GSM do sistema envia um SMS para o médico responsável, alertando-o acerca da anormalidade.

Em [37], Anand e Routray discutem questões e desafios do NB-IoT em aplicações de saúde. Apontam NB-IoT como uma escolha natural para o setor de saúde, por conta de seu baixo consumo de energia, e da sua pequena largura de banda quando comparada com outras tecnologias. Segundo os autores, NB-IoT é indicado para monitoramento de sinais vitais de um paciente por apresentar baixa radiação, devido a seu baixo consumo de energia. Entretanto, os autores mencionam que o NB-IoT não é confiável para comunicações em tempo real, e também existem aplicações médicas que necessitam de largura de banda maior do que o NB-IoT pode fornecer. Finalizando, Anand e Routray apontam dois parâmetros importantes nos sistemas de IoT: qualidade do serviço, e qualidade da experiência. Em ambos o NB-IoT ainda não é considerado uma das melhores tecnologias atualmente.

Norah Alassaf et al. [22] abordam algoritmos de criptografia para sistemas de IoT em saúde, comparando-os em termos de velocidade de execução e consumo de memória. Discutem a utilização de criptografia leve (LWC, do inglês: *Lightweight Cryptography*), adequada para aplicações com recursos de hardware limitados - como IoT. São escolhidos LWC pois algoritmos pesados, que necessitem de grande capacidade computacional, podem acarretar em demoras para descryptografar uma certa mensagem transmitida, aumentando assim, também, o consumo de energia do sistema.

Em [38] tecnologias IoT existentes são avaliadas quanto à sua utilidade em um sistema para monitorar pacientes que sofrem da doença de Parkinson. Esse trabalho conclui que sensores *wearables* para observar padrões de marcha, tremores e níveis gerais de atividades podem ser utilizados em combinação com tecnologias baseadas em visão (câmeras) em casa para monitorar a progressão da doença. Ademais, os autores sugerem que aprendizado de máquina pode aprimorar os tratamentos no futuro.

Em [28] os autores propõem um sistema de monitoramento de frequên-

cia cardíaca e detecção de ataques cardíacos com um sensor de pulso, um Arduino, e um módulo Wi-Fi. O usuário deve inserir seus batimentos máximo e mínimo no sistema. Após isso, o sensor de frequência cardíaca faz a medição da atividade cardíaca e disponibiliza o resultado em um visor LCD e através da internet pelo módulo Wi-Fi. Foi desenvolvido um aplicativo para smartphones que mostra graficamente os dados da frequência cardíaca coletados do indivíduo. Finalmente, caso o usuário apresente uma frequência de pulso fora dos limites estabelecidos, o sistema reconhece a anormalidade e alerta o usuário sobre um possível ataque cardíaco.

CAPÍTULO 4

Conclusão

Desafios atuais presentes em sistemas de saúde podem ser superados com o emprego da tecnologia, principalmente com soluções IoT. Neste trabalho, inicialmente foi abordada a arquitetura típica de um sistema IoT, sendo dividida em três categorias: dispositivos IoT, comunicação, e análise de dados.

Nos dispositivos foram estudados o que são sensores e atuadores, unidade de controle, e necessidades de eficiência energética em sistemas IoT. Na categoria de comunicação, abordamos o modelo de 7 camadas OSI, e dividimos a análise das tecnologias de comunicação sem fio em longo, médio e curto alcance, exemplificando e discutindo diferentes padrões e tecnologias de comunicação difundidas em sistemas IoT. Por fim, na análise de dados, tomamos um panorama geral sobre como os dados medidos pelos sensores chegam a uma interface gráfica com um usuário. Na última camada da arquitetura IoT encontramos também um nicho para algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina, responsáveis pelo tratamento dos dados e identificação de padrões.

Finalmente, fizemos o estudo de caso profundo de três aplicações de IoT em saúde, destacando seu uso, sensores, tecnologias de comunicação

e análise de dados. Também abordamos outros trabalhos acadêmicos na área, trazendo temas como sistemas de segurança com criptografia, algoritmos de tomada de decisão, monitores de sinais vitais de pacientes, detectores de ataques cardíacos e de pacientes com mal de Parkinson.

Como visto, IoT é capaz de melhorar a vida das pessoas em diversos âmbitos, especialmente nos cuidados de saúde. A tecnologia segue se desenvolvendo proporcionando sensores mais precisos, comunicações mais rápidas e seguras, e sistemas de análise de dados com capacidade de processamento ainda maior, possibilitando que diagnósticos e tratamentos médicos sejam cada vez mais precisos e efetivos, reduzindo custos, aumentando a segurança dos pacientes, e, por conseguinte, conferindo mais qualidade de vida e bem estar à população.

Referências bibliográficas

- [1] Ke Xu et al. Public spending on health: A closer look at global trends. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276728/WHO-HIS-HGF-HF-WorkingPaper-18.3-eng.pdf?ua=1>. [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].
- [2] Greg Dunko and Joydeep Misra and Josh Robertson and Tom Snyder. A reference guide to the internet of things. <https://bridgera.com/ebook/>. [Online; acessado em: 31 de Janeiro de 2020].
- [3] Ren Duan, Xiaojiang Chen, and Tianzhang Xing. A qos architecture for iot. *2011 International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, Oct. 2011.
- [4] Mohsen Marjani, Fariza Nasaruddin, Abdullah Gani, Ahmad Karim, Ibrahim Abaker Targio Hashem, Aisha Siddiqa, and Ibrar Yaqoob. Big iot data analytics: Architecture, opportunities, and open research challenges. *IEEE Access (Volume: 5)*, Mar. 2017.
- [5] Arm. Iot devices. <https://www.arm.com/glossary/iot-devices>. [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].

- [6] OMEGA Engineering. Calibração de dispositivos medidores de temperatura usados em fábricas. <https://br.omega.com/artigos-tecnicos/calibracao-dispositivos-medicao-de-temperatura.html>. [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].
- [7] D. Blaauw et al. Iot design space challenges: Circuits and systems. *2014 Symposium on VLSI Technology (VLSI-Technology): Digest of Technical Papers*, Jun. 2014.
- [8] Navroop Kaur and Sandeep K. Sood. An energy-efficient architecture for the internet of things (iot). *IEEE Systems Journal (Volume: 11, Issue: 2, June 2017)*, Oct. 2015.
- [9] Andreina Liendo, Dominique Morche, Roberto Guizzetti, and Franck Rousseau. Efficient bluetooth low energy operation for low duty cycle applications. *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2018.
- [10] Paul Simoneau. The OSI model: Understanding the seven layers of computer networks. http://ru6.cti.gr/bouras-old/WP_Simoneau_OSIModel.pdf. [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].
- [11] Michael Yuan. Conhecendo o mqtt. <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>. [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].
- [12] Min Chen, Yiming Miao, Hao Yixue, and Kai Hwang. Narrow band internet of things. *IEEE Access PP(99):1-1*, Sep. 2017.
- [13] Marco Centenaro, Lorenzo Vangelista, Andrea Zanella, and Michele Zorzi. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the iot and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications (Volume: 23 , Issue: 5 , October 2016)*, Nov. 2016.
- [14] Martin Christiaan Bor and Utz Roedig. Lora transmission parameter selection. *Conference: DCoSS 2017At: Ottawa, Canada*, Jun. 2017.

- [15] Lora Alliance. What is the lorawan® specification? <https://lora-alliance.org/about-lorawan>. [Online; acessado em: 03 de Fevereiro de 2020].
- [16] Texas Instruments. Cc2520 datasheet. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2520.pdf>. [Online; acessado em: 06 de Fevereiro de 2020].
- [17] Texas Instruments. Wireless connectivity. <http://www.tij.co.jp/jp/lit/sg/slab056d/slab056d.pdf>. [Online; acessado em: 06 de Fevereiro de 2020].
- [18] Texas Instruments. Cc3220modx and cc3220modax simplelink™ wi-fi® certified™ wireless mcu modules. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc3220moda.pdf>. [Online; acessado em: 06 de Fevereiro de 2020].
- [19] Kuor-Hsin Chang. Bluetooth: a viable solution for iot? [industry perspectives]. *IEEE Wireless Communications (Volume: 21, Issue: 6, December 2014)*, Dec. 2014.
- [20] Karan Desa. Build a visualization and monitoring dashboard for iot data with amazon kinesis analytics and amazon quicksight. <https://aws.amazon.com/blogs/big-data/build-a-visualization-and-monitoring-dashboard-for-iot-data-wi> [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].
- [21] Ubidots. Top 5 encryption algorithms for iot. <https://ubidots.com/blog/top-5-encryption-algorithms-for-iot/>. [Online; acessado em: 01 de Fevereiro de 2020].
- [22] Norah Alassaf, Basem Alkazemi, and Adnan Gutub. Applicable light-weight cryptography to secure medical data in iot systems. *JREAS 2(2)*, 50-58, 2017.
- [23] Mohammad Shahidul Islam, Mohammad Tariquul Islam, Ali F. Almutairi, Kok Beng Gan, Norbahiah Misran, and Nowshad Amin. Monitoring of the human body signal through the internet of things (iot) based lora wireless network system. *Applied Sciences 9(9):1884*, May 2019.

- [24] Yosuf ElSaadany, AKM Jahangir A. Majumder, and Donald R. Ucci. A wireless early prediction system of cardiac arrest through iot. *Conference: 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, Jun. 2017.
- [25] Baichen Li et al. A wearable iot aldehyde sensor for pediatric asthma research and management. *Sensors and Actuators B Chemical* 287, Jan. 2019.
- [26] Ali Hassan Sodhro et al. Energy efficiency comparison between data rate control and transmission power control algorithms for wireless body sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 14(1):155014771775003, Jan. 2018.
- [27] Polar. Difference between heart rate and pulse. https://support.polar.com/en/support/Difference_Between_Heart_Rate_and_Pulse. [Online; acessado em: 29 de Janeiro de 2020].
- [28] Nikunj Patel, Princekumar Patel, and Nehal Patel. Heart attack detection and heart rate monitoring using iot. *International Journal of Innovations Advancement in Computer Science (IJIACS), Volume 7, Issue 4*, Apr. 2018.
- [29] EM:RAP.ORG. Drs. swadron and herbert review the various types of st elevation on ecg. <https://www.emrap.org/episode/emraplive2/ecgcoursest>. [Online; acessado em: 05 de Fevereiro de 2020].
- [30] Damon SA Garbe PL Breyse PN Zahran HS, Bailey CM. Vital signs: Asthma in children — united states, 2001–2016. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2018;67:149–155, 2016.
- [31] Sense4Care. Technical features of the angel4 device. <http://www.sense4care.com/wp-content/uploads/2017/05/Angel4-Technical-Description.pdf>. [Online; acessado em: 28 de Janeiro de 2020].
- [32] A. Valach and D. Macko. Exploration of the lora technology utilization possibilities in healthcare iot devices. *2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Nov. 2018.

- [33] Hai Ahn Tran, Quynh Thu Ngo, and Van Tong. A new fall detection system on android smartphone: application to a sdn-based iot system. *2017 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, Oct. 2017.
- [34] Ravi Kishore Kodali, Govinda Swamy, and Boppana Lakshmi. An implementation of iot for healthcare. *2015 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*, Dec. 2015.
- [35] Rohan Tabish, Adel Ben Mnaouer, Farid Touati, and Abdula-ziz M. Ghaleb. A comparative analysis of ble and 6lowpan for u-healthcare applications. *GCC Conference and Exhibition (GCC), 2013 7th IEEE*, Oct. 2013.
- [36] M. Surya Deekshith Gupta, Vamsikrishna Patchava, and Virginia Menezes. Healthcare based on iot using raspberry pi. *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Oct. 2015.
- [37] Sharath Anand and Sudhir K. Routray. Issues and challenges in healthcare narrowband iot. *2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, Mar. 2017.
- [38] C. F. Pasluosta, H. Gassner, J. Winkler, J. Klucken, and B. M. Eskofier. An emerging era in the management of parkinson's disease: Wearable technologies and the internet of things. *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 19, no. 6, pp. 1873-1881, 2015.

