



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE**

GABRIEL CORREIA DA SILVA

**APLICATIVO MÓVEL INTEGRADO A ANEL E PULSEIRA INTELIGENTE PARA
MONITORAMENTO DE IDOSOS**

QUIXADÁ

2025

GABRIEL CORREIA DA SILVA

APLICATIVO MÓVEL INTEGRADO A ANEL E PULSEIRA INTELIGENTE PARA
MONITORAMENTO DE IDOSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Software
do Campus Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Me. Francisco Victor
da Silva Pinheiro.

QUIXADÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58a Silva, Gabriel Correia da.

Aplicativo móvel integrado a anel e pulseira inteligente para monitoramento de idosos / Gabriel Correia da Silva. – 2025.

73 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2025.

Orientação: Prof. Me. Francisco Victor da Silva.

1. Monitoramento de Idosos. 2. IoHT. 3. Anel Inteligente. I. Título.

CDD 005.1

GABRIEL CORREIA DA SILVA

APLICATIVO MÓVEL INTEGRADO A ANEL E PULSEIRA INTELIGENTE PARA
MONITORAMENTO DE IDOSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Software
do Campus Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Software.

Aprovada em: 01/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Francisco Victor da Silva
Pinheiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Marcelo Martins da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Bel. Pedro Henrique Magalhães Botelho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Francisco Laurindo Costa Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A jornada para a conclusão deste trabalho foi longa e repleta de desafios, e não teria sido possível sem o apoio de pessoas essenciais em minha vida.

Em primeiro lugar, dedico meu mais profundo agradecimento à minha irmã, Elida. Mais do que uma irmã, você foi meu principal pilar, minha maior incentivadora e a pessoa que sempre acreditou no meu potencial, mesmo quando eu duvidava. Seu apoio incondicional, sua paciência e seu companheirismo foram a força motriz que me permitiu superar cada obstáculo. Esta conquista é tão sua quanto minha.

Aos meus pais, Mara e Elias, agradeço por todo o amor, sacrifício e pelos valores que me ensinaram. Vocês me deram a base para tudo e sempre me incentivaram a buscar meus sonhos. Sou imensamente grato por cada oportunidade que me proporcionaram. À minha tia, Rejane, meu muito obrigado por todo o carinho e por estar sempre presente em minha vida.

À minha namorada, Cíntia, que foi uma presença essencial em cada etapa deste processo. Agradeço por sua paciência infinita durante minhas longas horas de estudo, por sua compreensão nos momentos de ausência e, acima de tudo, pelo amor e pela calma que você trouxe aos meus dias mais agitados. Ter você ao meu lado tornou tudo mais leve e significativo.

Aos meus amigos, que foram minha segunda família durante todos esses anos. Agradeço pelas incontáveis ajudas nos trabalhos da faculdade, pelas sessões de estudo, pelas palavras de incentivo e por todos os momentos de descontração que foram fundamentais para manter o equilíbrio. O apoio de vocês, tanto dentro quanto fora do ambiente acadêmico, foi inestimável.

A todos vocês, minha eterna gratidão.

"Uma jornada de mil milhas começa com um único passo." (Lao Tsé)

RESUMO

Este trabalho detalha o desenvolvimento do "*RingCare*", um ecossistema de saúde digital composto por um aplicativo móvel Android integrado a um anel e pulseira inteligente, focado no monitoramento contínuo de idosos. A iniciativa é motivada pelo crescente envelhecimento da população e os riscos de saúde associados, como quedas, distúrbios do sono e condições como a nictúria, buscando promover a segurança e a qualidade de vida dos usuários através de tecnologias de Internet das Coisas Médicas (IoHT) e computação ubíqua. O objetivo central foi desenvolver uma ferramenta que oferecesse um monitoramento proativo e discreto, amparada por conceitos teóricos de sistemas autoadaptativos e sensibilidade ao contexto para aumentar a autonomia dos usuários. A solução foi implementada como um aplicativo nativo em Kotlin com Jetpack Compose, seguindo o padrão arquitetural MVVM para garantir manutenibilidade e escalabilidade. O sistema se conecta via Bluetooth Low Energy (BLE) a dispositivos de baixo custo, como o anel Colmi R06 e a pulseira Mi Band 6, e se integra à plataforma Health Connect do Android para coletar e centralizar dados vitais como frequência cardíaca, saturação de oxigênio (SpO2), passos e padrões de sono. A arquitetura da solução contempla perfis distintos de "Paciente" e "Cuidador", permitindo o acompanhamento remoto dos dados e o envio de alertas automáticos em situações de risco, com toda a gestão de dados, perfis e autenticação realizada pela plataforma *Firebase*. Funcionalidades críticas, como um diálogo de confirmação de 30 segundos para o paciente em caso de picos de frequência cardíaca antes de notificar o cuidador, foram implementadas para otimizar a resposta a emergências. O resultado principal do projeto é um protótipo funcional que valida a viabilidade de uma solução de monitoramento eficaz, acessível e centrada no usuário. O "*RingCare*" estabelece uma base sólida para o futuro do cuidado preventivo, embora o estudo tenha identificado uma vulnerabilidade na comunicação não criptografada com o anel inteligente, um ponto que demanda atenção futura. Como próximos passos, sugere-se a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a detecção de quedas e anomalias fisiológicas, a adaptação da interface para diferentes níveis de alfabetização digital e a condução de estudos de validação em campo com idosos e profissionais da saúde para avaliar a eficácia da solução em cenários reais.

Palavras-chave: monitoramento de idosos; IoHT; anel inteligente.

ABSTRACT

This work details the development of "RingCare," a digital health ecosystem composed of a native Android mobile application integrated with a smart ring and a smart band, focused on the continuous monitoring of the elderly. This initiative is motivated by the growing aging population and its associated health risks, such as falls, sleep disorders, and conditions like nocturia, seeking to promote user safety and quality of life through Internet of Health Things (IoHT) and ubiquitous computing technologies. The central objective was to develop a tool that offers proactive and discreet monitoring, supported by theoretical concepts of self-adaptive systems and context-awareness to enhance user autonomy. The solution was implemented as a native application in Kotlin with Jetpack Compose, following the MVVM architectural pattern to ensure maintainability and scalability. The system connects via Bluetooth Low Energy (BLE) to low-cost devices, such as the Colmi R06 ring and the Mi Band 6, and integrates with Android's Health Connect platform to collect and centralize vital data like heart rate, oxygen saturation (SpO2), steps, and sleep patterns. The solution's architecture includes distinct "Patient" and "Caregiver" profiles, enabling remote data tracking and the dispatch of automatic alerts in risk situations, with all data management, profiles, and authentication handled by the Firebase platform. Critical functionalities, such as a 30-second confirmation dialog for the patient in case of heart rate spikes before notifying the caregiver, were implemented to optimize emergency response. The main outcome of the project is a functional prototype that validates the feasibility of an effective, accessible, and user-centric monitoring solution. "RingCare" establishes a solid foundation for the future of preventive care, although the study identified a vulnerability in the unencrypted communication with the smart ring, a point that requires future attention. For next steps, we suggest applying machine learning techniques to improve the detection of falls and physiological anomalies, adapting the interface for different levels of digital literacy, and conducting field validation studies with elderly users.

Keywords: elderly monitoring; IoHT; smart ring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão geral de Internet das Coisas da Saúde (IoHT) com quatro camadas, a partir da parte inferior: aquisição, armazenamento, processamento e apresentação.	20
Figura 2 – Elementos de um sistema autoadaptativo	25
Figura 3 – <i>Loop</i> de adaptação Monitorar, Analisar, Planejar, Executar e Conhecimento (MAPE-K)	26
Figura 4 – Arquitetura mobile da plataforma PARTNER	28
Figura 5 – Aplicação FRIEND.	29
Figura 6 – Ecossistema de dispositivos Internet das Coisas (IoT)..	30
Figura 7 – Diagrama de integração	33
Figura 8 – Integração de sistemas de Risco à Saúde e Hospitais Inteligentes	34
Figura 9 – Diálogo entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto	35
Figura 10 – Passos para execução do trabalho	36
Figura 11 – Arquitetura Geral	40
Figura 12 – Diagrama do Padrão MVVM.	42
Figura 13 – Requisitos Funcionais do Aplicativo	45
Figura 14 – Requisitos Não Funcionais do Aplicativo	46
Figura 15 – Diagrama de casos de uso(Paciente)	48
Figura 16 – Diagrama de casos de uso(Cuidador)	49
Figura 17 – Diagrama de Atividade do Fluxo Principal do Aplicativo.	51
Figura 18 – Telas primeiro login.	53
Figura 19 – Telas usuário(Paciente).	54
Figura 20 – Telas usuário(Paciente).	55
Figura 21 – Telas usuário(Paciente).	56
Figura 22 – Telas usuário(Paciente).	57
Figura 23 – Telas usuário(Cuidador).	58
Figura 24 – Telas usuário(Cuidador).	59
Figura 25 – Tela de strutura dos dados da aplicação no Firebase Firestore.	60
Figura 26 – Acesso a dados brutos de acelerômetro e giroscópio por dispositivo.	72
Figura 27 – Especificações técnicas do anel inteligente Colmi R06.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Interface de Programação de Aplicações
BLE	Bluetooth de Baixo Consumo de Energia
CNN	Rede Neural Convolucional
DSR	Pesquisa Científica Baseada em Design
FC	Frequência Cardíaca
FHIR	Recursos de Interoperabilidade em Saúde Rápida
HEX	Hexadecimal
IoHT	Internet das Coisas da Saúde
IoT	Internet das Coisas
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
LSTM	Memória de Longo Curto Prazo
MAPE-K	Monitorar, Analisar, Planejar, Executar e Conhecimento
OIS	Objetos Inteligentes de Saúde
OMS	Organização Mundial da Saúde
POC	Prova de Conceito
RIS	Superfícies Inteligentes Reconfiguráveis
RPM	Monitoramento Remoto de Pacientes
SpO2	Saturação Periférica de Oxigênio
TAM	Modelo de Aceitação de Tecnologia
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
UUID	Identificador Único Universal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo geral	14
1.2	Objetivos específicos	14
1.3	Organização do Trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	<i>Bluetooth Low Energy</i>	16
2.2	Sistemas Ubíquos	17
2.2.1	<i>Internet das Coisas</i>	18
2.2.2	<i>Internet das Coisas Médicas</i>	19
2.2.3	<i>Vestíveis</i>	19
2.3	IoHT Baseado em Padrões de Movimento	21
2.3.1	<i>Aplicações Práticas</i>	21
2.3.2	<i>Arquitetura de Sistemas IoHT</i>	22
2.4	Health Connect e Integração de Dados de Saúde	22
2.4.1	<i>Benefícios e Desafios</i>	23
2.5	Monitoramento e Qualidade de Vida	23
2.5.1	<i>Integração com Sistemas de Saúde</i>	23
2.5.2	<i>Desafios e Considerações Éticas</i>	23
2.5.3	<i>Impacto Social e Futuro</i>	24
2.6	Sistemas autoadaptativos	24
2.6.1	<i>Loop de adaptação</i>	25
3	TRABALHOS RELACIONADOS	27
3.1	PARTNER: Plataforma de desenvolvimento para IoHT autoadaptável	
	Microserviços de aplicativos	27
3.2	Estrutura de assistência médica inteligente para vida assistida em ambiente usando técnicas de IoHT e análise de big data	29
3.3	Processo de desenvolvimento para aplicações autoadaptativas da internet das coisas da saúde com base em padrões de movimento	31
3.4	FallReportAPI: Integração de Sistemas de Saúde Digital para Detecção de Quedas em Sistemas Hospitalares	32

3.5	Comparação dos Trabalhos Relacionados com o Proposto	34
4	METODOLOGIA	36
4.1	Revisão de Literatura	36
4.2	Estudo sobre Dispositivos vestíveis	37
4.3	Projetar as Funcionalidades e Regras de Negócio da Aplicação	37
4.3.1	<i>Requisitos Funcionais</i>	38
4.3.2	<i>Requisitos Não Funcionais</i>	39
4.4	Desenvolver a Aplicação	39
5	RINGCARE - APP DE MONITORAMENTO	40
5.1	Arquitetura Geral do Sistema	40
5.2	Arquitetura Interna da Aplicação (MVVM)	41
5.3	Elicitação de Requisitos	43
5.3.1	<i>Requisitos Funcionais</i>	44
5.3.2	<i>Requisitos Não Funcionais</i>	46
5.4	Diagrama de Caso de Uso do Aplicativo	47
5.4.1	<i>Interações do Usuário Monitorado (Paciente)</i>	47
5.4.2	<i>Interações do Cuidador</i>	48
5.4.3	<i>Diagrama de Atividade Principal do Aplicativo</i>	49
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1	Interfaces do Aplicativo	52
6.1.1	<i>Telas do Usuário Paciente</i>	54
6.1.2	<i>Telas do Usuário Cuidador</i>	57
6.2	Estrutura de Dados no Firebase	59
6.2.1	<i>Detalhamento da Estrutura de Dados de Saúde</i>	60
6.2.1.1	<i>Frequência Cardíaca (heart_rate):</i>	60
6.2.1.2	<i>Passos (steps):</i>	61
6.2.1.3	<i>Sono (sleep):</i>	61
6.2.1.4	<i>Calorias (calories):</i>	61
6.2.1.5	<i>Saturação de Oxigênio (oxygen_saturation):</i>	61
6.2.2	<i>Estrutura de Dados para a Interface de Programação de Aplicações (API Externa</i>	62
7	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	63

7.1	Conclusão	63
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – Estudo de Dispositivos Vestíveis	71
A.1	Análise Comparativa de Acesso a Sensores	71
A.2	Especificações do Dispositivo Selecionado	71

1 INTRODUÇÃO

O envelhecimento da população mundial é um fenômeno que vem impactando um número crescente de países nas últimas décadas (Mrejen *et al.*, 2023). Esse fenômeno ocorre de forma cada vez mais acelerada na população brasileira. A participação de idosos na população total está projetada para aumentar de 10% para 20% em um período menor do que o observado em países desenvolvidos. Nesse ritmo, estima-se que o percentual de idosos ultrapasse o de crianças no Brasil por volta do início da década de 2030, resultado das melhorias nas condições de saúde entre os anos de 1998 e 2019 (Zeadally *et al.*, 2019).

Para compreender e reduzir os riscos de saúde associados a esse envelhecimento, a análise de movimento é de grande importância na identificação de diversos problemas de saúde e no entendimento de eventos dia a dia. Aspectos como marcha, postura, velocidade de caminhada, atividade física e riscos de queda são avaliados nesse processo (Noce Kirkwood *et al.*, 2018). Essas informações são essenciais sobre a mobilidade e a funcionalidade das pessoas, sendo particularmente úteis para detectar alterações que possam indicar o surgimento ou agravamento de doenças crônicas.

Ampliando o escopo dessa avaliação, a análise de movimento também possibilita a investigação de atividades durante o período noturno. Um exemplo é a identificação da necessidade frequente de urinar à noite, conhecida como nictúria, que pode estar relacionada a diferentes fatores, como distúrbios do sono, infecções do trato urinário, doenças crônicas (como diabetes ou insuficiência cardíaca) ou ruins de hidratação (Zeadally *et al.*, 2019; Mendes *et al.*, 2024). Com essas informações, é possível propor intervenções para melhorar a qualidade de vida e reduzir os impactos desses fatores na saúde.

A necessidade de monitorar esses e outros padrões de saúde de forma contínua e discreta encontra uma solução promissora no uso de tecnologias avançadas, como a IoT que quando aplicadas à saúde é denominada de IoHT. Esse conceito propõe a utilização de dispositivos tecnológicos incorporados ao cotidiano, equipados com capacidade de processamento em tempo real e conectados à internet, permitindo uma integração adaptável e interoperável (Sundmaeker *et al.*, 2010).

Esse dispositivos, que formam a base da IoHT, desempenham diversas funções voltadas para o monitoramento do status atual do usuário, operando por meio de sensores integrados. Eles podem registrar parâmetros como movimento, frequência cardíaca, temperatura corporal e até padrões comportamentais, fornecendo dados precisos e personalizados que auxiliam no

acompanhamento da saúde e na detecção de alterações significativas.

Como exemplos práticos dessa tecnologia, pulseiras e anéis inteligentes se destacam por integrar funcionalidades avançadas ao dia a dia. Esses dispositivos são compactos, leves e discretos, fazendo-os serem ideais para o uso continuo (Verzani; Serapião, 2020). No caso das pulseiras costuma estar no rastreamento de atividades físicas e no estímulo a hábitos saudáveis. Já os anéis inteligentes se destacam no monitoramento e precisão de sinais vitais, sendo úteis para identificar alterações sutis no corpo, podendo indicar até doenças em estágio inicial.

O potencial clínico de dispositivos como esses tem sido amplamente estudado nos últimos anos (2020-2024), com a IoHT se consolidando como uma ferramenta para transformar o monitoramento e o cuidado de pacientes. Pesquisas indicam que dispositivos vestíveis e sensores inteligentes possibilitam um acompanhamento preciso de sinais vitais e padrões de movimento, permitindo a detecção precoce de condições adversas (Sundmaeker *et al.*, 2010; Taramasco *et al.*, 2018b). Além disso, estudos apontam que avanços em interoperabilidade e segurança de dados são essenciais para garantir a confiabilidade e a adoção dessas tecnologias no ambiente clínico e domiciliar (Saifuzzaman; Ananna, 2024; Carvalho *et al.*, 2024). Com o aumento da conectividade e da capacidade de processamento em tempo real, a IoHT se consolida como uma ferramenta essencial para a medicina preventiva e o suporte à autonomia da população idosa.

Para tornar esses dispositivos IoHT ainda mais eficazes, conceitos como a sensibilidade ao contexto e os sistemas ubíquos são fundamentais. Sistemas ubíquos são projetados para operar de maneira contínua e invisível, capturando dados relevantes sem necessidade de interação ativa por parte do usuário. Nesse cenário, dispositivos como pulseiras e anéis inteligentes exemplificam a aplicação prática dessas tecnologias no dia a dia (Costa Junior *et al.*, 2024).

Aplicando essas tecnologias ao cenário do envelhecimento, percebe-se que os problemas de saúde noturnos são particularmente críticos e impactam significativamente a qualidade de vida dos idosos. Durante o período noturno, questões como nictúria (necessidade de urinar várias vezes à noite) tornam-se comuns, podendo interromper o sono e aumentar o risco de quedas e esbarrões ao se deslocar no escuro (Costa Junior *et al.*, 2024). Distúrbios do sono, como apneia e insônia, são recorrentes nessa faixa etária, afetando o descanso e contribuindo para o desenvolvimento de doenças crônicas como hipertensão e diabetes. Além disso, a redução da mobilidade e do equilíbrio torna os idosos mais propensos a quedas e esbarrões, muitas vezes resultando em lesões graves, como fraturas que podem levar a complicações a longo prazo.

(Mendes *et al.*, 2022).

Frente a este cenário de risco, o monitoramento contínuo de tais condições torna-se, portanto, uma estratégia crucial não apenas para a detecção de acidentes, mas também para a promoção da saúde geral dos idosos. Tecnologias como sensores inteligentes e dispositivos vestíveis (wearables), pilares da IoHT, oferecem os meios para implementar essa vigilância de forma discreta e eficaz. Com eles, é possível rastrear com precisão parâmetros como a qualidade do sono, a frequência de idas ao banheiro, padrões de movimento e detectar episódios de quedas ou esbarrões em tempo real. Essa abordagem proativa permite intervenções rápidas e a coleta de dados que auxiliam no manejo de condições crônicas e na melhoria da qualidade de vida

Em síntese, enquanto os desafios relacionados à saúde noturna dos idosos como nictúria, distúrbios do sono e quedas são bem definidos e crescentes, as soluções tecnológicas adaptáveis, como os sistemas sensíveis ao contexto, já demonstram grande potencial. No entanto, a integração dessas tecnologias ubíquas no cuidado noturno ainda é pouco explorada, especialmente no desenvolvimento de sistemas que não apenas monitorem passivamente, mas que também promovamativamente a autonomia e a segurança do usuário. Diante dessa lacuna, emerge a necessidade de investigar e propor soluções que utilizem dispositivos de baixo custo e alta usabilidade para criar um ambiente mais seguro e inteligente para a população idosa.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver um aplicativo móvel para sistema Android em conjunto com vestíveis para monitoramento da saúde de idosos, utilizando tecnologias de sensibilidade ao contexto e sistemas ubíquos. O foco é promover a identificação de alterações comportamentais ou fisiológicas através dados coletados que possam indicar riscos à saúde, alertar sobre possíveis riscos, como quedas e esbarrões, e contribuir para a melhoria da qualidade de vida e a segurança dos usuários.

1.2 Objetivos específicos

1. Revisar a literatura científica e tecnológica sobre sistemas de monitoramento de saúde para idosos, com foco em dispositivos IoHT, computação ubíqua e técnicas de sensibilidade ao contexto para a detecção de riscos e suporte à resposta rápida.
2. Projetar e implementar um sistema de monitoramento que integre o anel inteligente ao

aplicativo móvel, capaz de coletar, processar dados e a possibilidade de detecção de eventos de risco agudo, como quedas e esbarrões.

3. Desenvolver a arquitetura do sistema com componentes reutilizáveis, visando garantir a escalabilidade da solução, facilitar a manutenção e permitir a integração futura com outros dispositivos ou plataformas de saúde.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, de modo a guiar o leitor de forma lógica através da pesquisa e do desenvolvimento da solução.

O Capítulo 1 serve como Introdução, contextualizando o desafio do envelhecimento populacional e a relevância do monitoramento contínuo da saúde. Nele, são apresentados os objetivos geral e específicos que norteiam toda a pesquisa. O Capítulo 2 aprofunda a Fundamentação Teórica, detalhando os conceitos tecnológicos essenciais, como IoHT e sistemas ubíquos, que servem de alicerce para o projeto. O Capítulo 3 analisa os Trabalhos Relacionados, posicionando esta pesquisa no estado da arte ao comparar soluções existentes com a abordagem aqui proposta.

A segunda metade do documento foca na implementação. O Capítulo 4 descreve a Metodologia, explicando o processo de desenvolvimento, o ambiente tecnológico e a elicitação de requisitos. O Capítulo 5 apresenta em detalhes o Aplicativo de Monitoramento e os Resultados, expondo a arquitetura do sistema, as interfaces desenvolvidas para paciente e cuidador, e a estrutura de dados. Por fim, o Capítulo 6 consolida as Conclusões, recapitulando as contribuições do estudo, e aponta direções para Trabalhos Futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo, são apresentados os conceitos fundamentais que servem de base para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, discute-se sobre Bluetooth de Baixo Consumo de Energia (BLE), IoT e IoHT, explorando sua arquitetura, aplicações e desafios. Em seguida, aborda-se a IoHT baseada em padrões de movimento, que utiliza sensores e aprendizado de máquina para analisar o comportamento dos usuários e detectar situações de risco. Além disso, são explorados os impactos do monitoramento contínuo na qualidade de vida dos idosos, destacando os benefícios e desafios da adoção dessas tecnologias. Por fim, é introduzido o conceito de sistemas autoadaptativos, que permitem que aplicações ajustem seu comportamento dinamicamente conforme mudanças no ambiente, e o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), é um modelo amplamente utilizado para avaliar a aceitação de novas tecnologias pelos usuários.

2.1 *Bluetooth Low Energy*

Devido à demanda por tecnologias sem fio de curto alcance, o *Bluetooth Low Energy* foi desenvolvido para aplicações que necessitam de baixo consumo energético, como dispositivos vestíveis (relógios, anéis inteligentes), sensores ambientais, sistemas de automação residencial e soluções médicas. Introduzido na especificação Bluetooth 4.0, o BLE ganhou ampla adoção no contexto da *Internet das Coisas* (IoT) por sua eficiência energética, tempo reduzido para estabelecimento de conexão e compatibilidade com a maioria dos smartphones modernos (Koulouras *et al.*, 2025).

Nos últimos anos, o BLE tem sido amplamente empregado em cidades inteligentes, principalmente por meio do uso de *beacons*, que permitem localização em ambientes internos, rastreamento de ativos e envio de notificações contextuais aos usuários em tempo real (Spanchos; Plataniotis, 2021). Nesse cenário, Tedeschi *et al.* propõem o uso de beacons BLE sem bateria, com foco no rastreamento de contatos durante a pandemia de COVID-19, destacando a viabilidade de soluções sustentáveis com preservação de privacidade (Tedeschi *et al.*, 2021).

Apesar de suas vantagens, o desempenho da comunicação BLE pode ser negativamente impactado em ambientes complexos, como locais com barreiras metálicas ou alta interferência eletromagnética. Para enfrentar esses desafios, pesquisas recentes exploram o uso de (*Superfícies Inteligentes Reconfiguráveis* (RIS)). Essas superfícies, compostas por estruturas programáveis, manipulam ondas eletromagnéticas de forma dinâmica, atuando como "espe-

lhos "inteligentes que otimizam a propagação do sinal. Lodro et al. investigaram a aplicação de RIS para mitigar perdas de sinal em comunicações BLE, demonstrando melhorias significativas na taxa de sucesso de transmissão, especialmente em ambientes adversos (Lodro *et al.*, 2021).

Além do desempenho, a segurança é um tema recorrente. Pawelke realizou uma revisão abrangente das vulnerabilidades conhecidas, envolvendo ataques passivos (rastreamento de localização) e ativos (falsificação de dispositivos), enfatizando a importância de mecanismos robustos de emparelhamento seguro e proteção de dados sensíveis (Pawelke *et al.*, 2021).

Quanto à eficiência energética, uma das principais vantagens do BLE, estudos sobre redes BLE Mesh indicam que é possível alcançar até 21 meses de autonomia em dispositivos com baterias limitadas, desde que empregadas estratégias adequadas de gerenciamento de energia (Wang *et al.*, 2021). Complementarmente, Alsayid et al. realizaram uma análise experimental detalhada do consumo energético do BLE em diferentes modos operacionais (publicidade, conexão e repouso), concluindo que o desempenho energético real depende fortemente da configuração de parâmetros e do perfil de transmissão (Alsayid *et al.*, 2022).

As evoluções mais recentes do protocolo, como a versão 5.3, trouxeram avanços como suporte ao padrão LE Audio, melhorias em sincronização e maior capacidade de transmissão, prometendo expandir ainda mais o uso do BLE em dispositivos vestíveis e sistemas embarcados com inteligência artificial (Koulouras *et al.*, 2025).

2.2 Sistemas Ubíquos

A transição para um mundo cada vez mais conectado foi antecipada por Mark Weiser em seu influente artigo *The Computer for the 21st Century*, no qual ele descreve uma realidade onde a tecnologia computacional se tornaria onipresente e invisível ao usuário. Essa visão, conhecida como **computação ubíqua**, está intimamente relacionada ao paradigma da *Internet das Coisas* (IoT), promovendo a integração de dispositivos ao ambiente físico de forma transparente, de modo que as atividades cotidianas possam ser assistidas pela tecnologia sem a necessidade de configuração explícita ou atenção constante do usuário (Weiser, 1999).

A computação ubíqua se sustenta em três princípios fundamentais:

- **Invisibilidade (ou Desaparecimento da Tecnologia):** O princípio mais importante é que a tecnologia deve se "dissolver" no ambiente, tornando-se tão natural quanto os objetos do cotidiano. A interação torna-se fluida e intuitiva, a ponto de o usuário não precisar refletir conscientemente sobre sua utilização. Em vez de focar no computador, o usuário foca na

tarefa, e a tecnologia atua como uma ferramenta silenciosa em segundo plano.

- **Sensibilidade ao Contexto (Context-Awareness):** Para ser eficaz, um sistema ubíquo precisa compreender o contexto em que está inserido. Essa sensibilidade é alcançada pela análise de múltiplas dimensões, como: *quem* (a identidade do usuário), *onde* (sua localização física), *quando* (o momento no tempo) e *o quê* (a atividade que está sendo realizada). Ao entender o contexto, o sistema pode oferecer informações e serviços personalizados e relevantes para a situação atual do usuário.
- **Proatividade e Inteligência Ambiental:** Os sistemas ubíquos não apenas reagem a comandos, mas também antecipam as necessidades do usuário de forma proativa. Com base no contexto e em padrões aprendidos, eles podem tomar iniciativas para aumentar o conforto, a segurança ou a eficiência. Um exemplo comum é o ajuste automático de uma persiana em resposta ao excesso de luminosidade no ambiente, ou um sistema de saúde que lembra o usuário de tomar um medicamento ao detectar que é a hora certa e que ele está em casa.

2.2.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas, de forma simplificada, é a materialização da visão ubíqua. Trata-se de uma extensão da internet atual que possibilita que objetos do nosso cotidiano, dotados de capacidade computacional e de comunicação, se conectem à rede mundial. Essa conectividade permite, em primeiro lugar, controlar esses objetos remotamente e, em segundo lugar, utilizá-los como prestadores de serviços, abrindo um vasto leque de oportunidades no meio acadêmico e na indústria (Santos *et al.*, 2016).

As aplicações de IoT envolvem a coleta de dados em diversas configurações, processamento otimizado em tempo real (muitas vezes com computação de borda), interação direta com objetos de todas as naturezas e comunicação entre os próprios objetos, bem como com pessoas (Faruqui *et al.*, 2021). Na área da saúde, a IoT traz inovações para simplificar procedimentos, economizar tempo e recursos, minimizar erros humanos e fornecer dados para prevenir e gerenciar doenças (Rosa *et al.*, 2020). Contudo, sua expansão levanta desafios significativos de segurança e privacidade dos dados.

2.2.2 *Internet das Coisas Médicas*

A IoHT é a especialização da IoT para a área da saúde. Ela permite a interconexão de dispositivos médicos, sensores e sistemas de informação, facilitando a coleta contínua de dados de saúde dos usuários. Essa interconectividade melhora o monitoramento remoto de pacientes, possibilita intervenções precoces e aprimora os resultados clínicos. Conforme destacado por (Tunc *et al.*, 2021), "a IoT está pronta para assumir um papel sólido em todos os aspectos da indústria de saúde, proporcionando benefícios como tratamento instantâneo e confiável, redução de custos e comunicação aprimorada".

A IoHT tem se mostrado fundamental para a gestão eficiente de recursos, otimizando processos e reduzindo custos operacionais. A integração de dispositivos conectados possibilita o monitoramento contínuo de pacientes, diminuindo a necessidade de visitas presenciais e hospitalizações. Conforme observado por (Maneshti *et al.*, 2023), a aplicação de tecnologias de IoT e computação em névoa pode reduzir custos e melhorar os resultados dos pacientes, especialmente em áreas rurais. A adoção de sistemas de computação em borda com aprendizado de máquina em tempo real permite, por exemplo, um monitoramento cardíaco preciso e de baixa latência, contribuindo para intervenções médicas mais rápidas e eficazes.

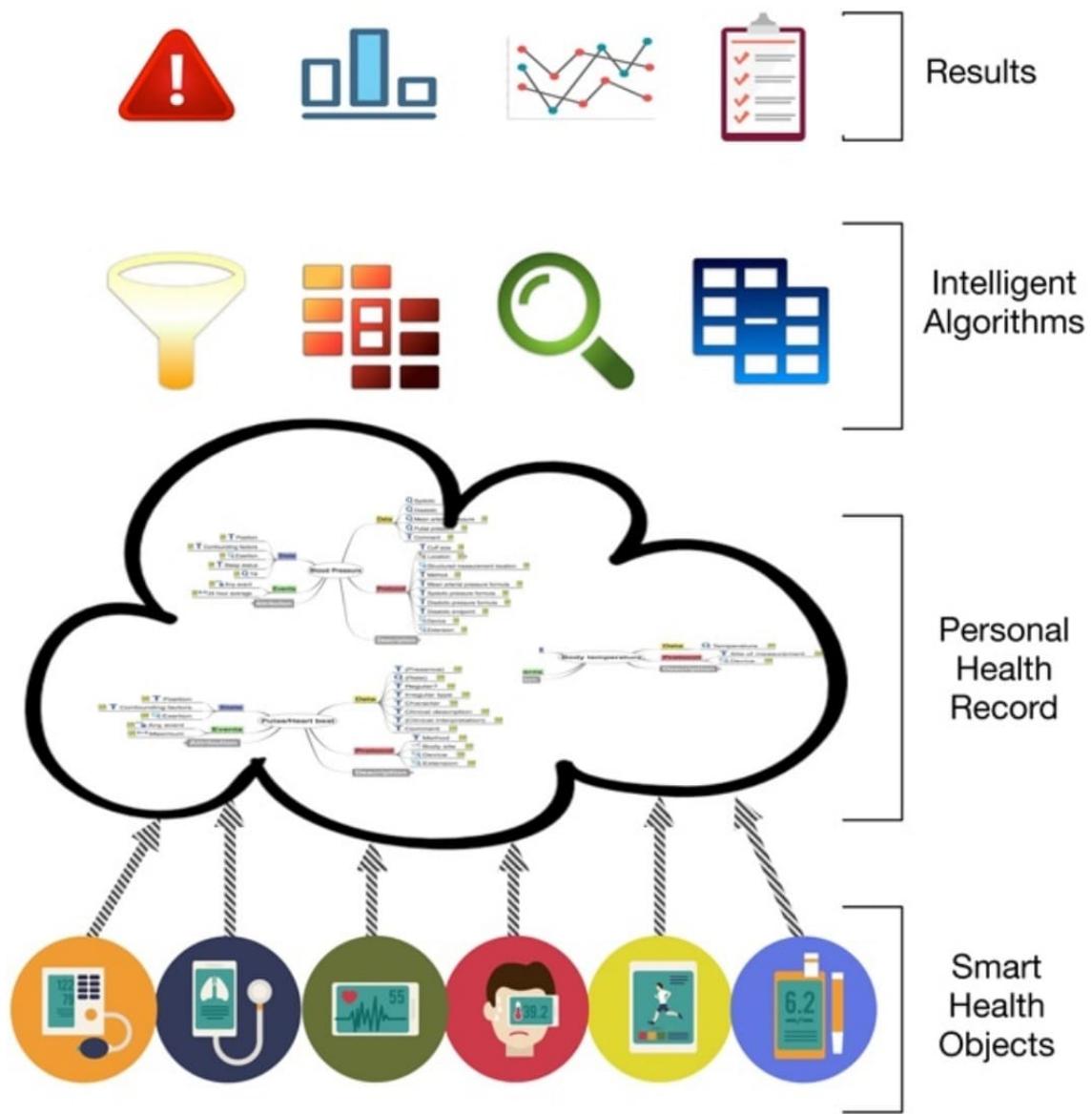
2.2.3 *Vestíveis*

Vestíveis (ou *wearables*) são sistemas eletrônicos que podem ser usados como acessórios, embutidos em roupas ou até mesmo como implantes. Seu principal objetivo é coletar dados de forma contínua e não invasiva sobre o usuário e o ambiente ao seu redor. Dispositivos como relógios, pulseiras e anéis inteligentes funcionam como uma porta de entrada para o ecossistema de IoHT.

Segundo (Costa *et al.*, 2018), a IoHT consiste em objetos interconectados com a capacidade de trocar e processar dados para melhorar a saúde do paciente. Esta visão centrada no paciente envolve quatro camadas distintas, como ilustrado na Figura 1.

- **Aquisição:** Esta camada consiste no uso dos Objetos Inteligentes de Saúde (OIS), como dispositivos médicos e vestíveis. O objetivo de um OIS é coletar dados de sinais vitais ou de outras condições fisiológicas do paciente, devendo possuir recursos de comunicação com a internet ou redes privadas (ex: Bluetooth, WiFi).
- **Armazenamento:** Essa camada é encarregada de representar os dados coletados em um

Figura 1 – Visão geral de IoHT com quatro camadas, a partir da parte inferior: aquisição, armazenamento, processamento e apresentação.



Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2018)

formato altamente escalável e interoperável. É comum o uso de computação em nuvem, mas variações como a computação em névoa (fog computing) têm sido defendidas para IoHT a fim de reduzir a latência, integrando dispositivos locais (computação de borda) com recursos remotos.

- **Processamento:** Trata-se da camada responsável pela análise dos dados do paciente. É comum, nesta camada, a utilização de algoritmos inteligentes baseados em técnicas de aprendizado de máquina para prover um processamento que permita otimizar recursos e extrair insights.

- **Apresentação:** Esta camada é responsável pela visualização dos resultados das camadas anteriores. A visualização pode assumir a forma de alertas, ações sugeridas, gráficos e tabelas, tanto para o paciente quanto para profissionais de saúde.

No entanto, a implementação da IoHT enfrenta desafios significativos, incluindo questões de privacidade e segurança dos dados, interoperabilidade entre dispositivos e a necessidade de infraestrutura tecnológica robusta, pontos que devem ser adequadamente abordados para o sucesso de sua implementação na área da saúde (Baucas *et al.*, 2021).

2.3 IoHT Baseado em Padrões de Movimento

A IoHT baseada em padrões de movimento é uma vertente focada no uso de sensores para coletar dados relacionados a aspectos como marcha, postura, velocidade de deslocamento e localização. Essas informações são analisadas para identificar condições de saúde e situações de risco, sendo particularmente úteis no cuidado com idosos, que frequentemente apresentam maior vulnerabilidade a quedas e doenças relacionadas à mobilidade (Magno *et al.*, 2018; Taramasco *et al.*, 2018a).

2.3.1 Aplicações Práticas

Os sistemas IoHT baseados em padrões de movimento têm sido amplamente aplicados em diferentes contextos de saúde. Algumas das principais aplicações incluem:

- **Detecção de quedas:** Sistemas que monitoram alterações abruptas nos padrões de movimento, emitindo alertas automáticos para acidentes, o que pode salvar vidas em situações de emergência (Linhares *et al.*, 2020).
- **Monitoramento de atividades diárias:** Sensores são utilizados para identificar rotinas e mudanças comportamentais, fornecendo dados valiosos sobre o estado geral de mobilidade e saúde dos usuários (Haas; Melo, 2011).
- **Rastreamento de condições específicas:** Tecnologias como dispositivos vestíveis monitoram padrões de movimento associados a condições de saúde específicas, como sequelas de acidentes vasculares cerebrais, auxiliando na reabilitação e no acompanhamento médico (Ghadi *et al.*, 2022).

2.3.2 Arquitetura de Sistemas IoHT

Os sistemas IoHT baseados em padrões de movimento seguem uma arquitetura composta pelas quatro camadas principais já descritas:

1. **Aquisição:** Dados são capturados por sensores integrados a dispositivos vestíveis, sensores de pressão ou câmeras ambientais.(Costa Junior *et al*, 2023)
2. **Armazenamento:** As informações são armazenadas em sistemas escaláveis, como computação em nuvem ou em névoa.
3. **Processamento:** Algoritmos avançados de aprendizado de máquina são utilizados para identificar padrões e correlacioná-los a condições de saúde.
4. **Apresentação:** Os resultados são exibidos de forma acessível, como gráficos ou alertas, para auxiliar na tomada de decisões (Costa Junior *et al*, 2023).

2.4 Health Connect e Integração de Dados de Saúde

O crescimento do ecossistema de dispositivos vestíveis e aplicações de saúde digital gerou desafios de interoperabilidade. Nesse contexto, o **Health Connect**, do Google, surge como uma solução para unificar o acesso e o compartilhamento de informações de saúde e bem-estar entre diferentes aplicativos e dispositivos no sistema Android.

Lançado em versão beta em 2022, o Health Connect atua como um repositório de dados local no dispositivo, permitindo que múltiplos aplicativos autorizados compartilhem e consultem informações de maneira segura e padronizada. A plataforma suporta categorias como frequência cardíaca, passos, sono, Saturação Periférica de Oxigênio (SpO2), entre outras, proporcionando uma visão holística da saúde do usuário.

Tecnicamente, o acesso é feito por meio de uma API específica que exige permissões explícitas e segue boas práticas de privacidade. Ao adotar esse padrão, aplicações evitam a fragmentação de dados e reduzem a complexidade de integração. No contexto deste trabalho, o uso do Health Connect é relevante por permitir a consolidação de dados de dispositivos como a Xiaomi Mi Band e anéis inteligentes, ampliando a capacidade de coleta e análise de dados fisiológicos.

2.4.1 *Benefícios e Desafios*

Sistemas IoHT baseados em padrões de movimento oferecem benefícios como monitoramento contínuo, maior autonomia para os usuários e redução da necessidade de intervenções hospitalares. Além disso, promovem uma abordagem menos invasiva, monitorando os usuários em seus ambientes naturais.

Apesar das vantagens, a implementação enfrenta desafios, como a dificuldade de relacionar dados de sensores a diagnósticos específicos. Outro ponto crítico é garantir a interoperabilidade e a escalabilidade dos sistemas, bem como a proteção de dados sensíveis, que podem ser alvos de violações de privacidade (Syed *et al.*, 2019).

2.5 Monitoramento e Qualidade de Vida

A integração de tecnologias de monitoramento contínuo no cotidiano dos idosos representa um avanço significativo na saúde preventiva. Sistemas baseados em **IoHT** estão redefinindo a relação entre pacientes, cuidadores e profissionais de saúde. Dispositivos como pulseiras com detecção de queda e colchões com monitoramento de sono permitem intervenções precoces, podendo reduzir hospitalizações por doenças crônicas em até 30%, segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) (World Health Organization, 2015).

2.5.1 *Integração com Sistemas de Saúde*

A eficácia dessas tecnologias é amplificada quando vinculadas a plataformas de telemedicina e prontuários eletrônicos. No Canadá, o projeto *Monitoramento Remoto de Pacientes (RPM)* demonstrou que a análise preditiva de dados de IoHT reduziu em 22% as complicações pós-operatórias em idosos (Mather; Johnson, 2022). Esse fluxo de informações em tempo real permite personalizar planos de cuidado, alinhando-se aos princípios da Medicina 4.0.

2.5.2 *Desafios e Considerações Éticas*

A adoção em larga escala enfrenta barreiras. Estudos apontam que 40% dos idosos relatam dificuldades com interfaces complexas (Silva; Costa, 2023), destacando a necessidade de designs inclusivos. O excesso de monitoramento também pode gerar *ansiedade iatrogênica*, onde alertas frequentes induzem hipocondria (Kim; Park, 2022).

A privacidade é um dilema central. A coleta contínua de dados biométricos suscita debates sobre vigilância e autonomia. Regulamentações como a GDPR na Europa e a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil buscam equilibrar inovação e direitos individuais, mas lacunas persistem, como a comercialização secundária de dados (Zheng; Liu, 2021).

2.5.3 *Impacto Social e Futuro*

O IoHT também impacta redes de cuidado informal. Cuidadores familiares relatam redução de sobrecarga emocional ao utilizar sistemas de alerta compartilhado (Ross *et al.*, 2023). O futuro pode incluir assistentes virtuais com IA afetiva, que não apenas monitoram, mas oferecem suporte emocional, mitigando a solidão.

Em síntese, o monitoramento contínuo via IoHT é uma ferramenta poderosa, mas sua implementação requer abordagens multidisciplinares. Como afirma Floridi (2019), *"a tecnologia deve servir à dignidade humana, não redefini-la"*.

2.6 Sistemas autoadaptativos

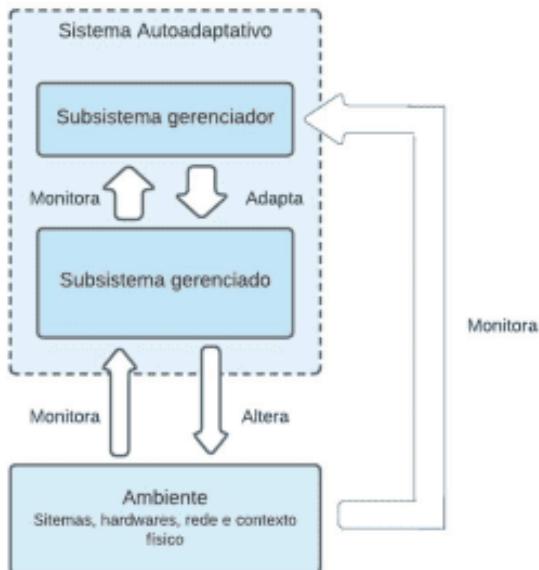
Um sistema autoadaptativo pode modificar seu comportamento com base em experiências passadas ou mudanças no ambiente. Suas principais características são:

- **Auto-organização:** Capacidade de organizar-se sem controle centralizado.
- **Aprendizado:** Utiliza feedback para ajustar-se e melhorar seu desempenho.
- **Resiliência:** Habilidade de manter sua funcionalidade diante de perturbações.
- **Evolução:** Capacidade de evoluir ao longo do tempo, ajustando suas regras.
- **Complexidade:** Interação de múltiplos agentes que resulta em comportamentos não-lineares.

A teoria dos sistemas adaptativos se apoia em correntes como a teoria geral dos sistemas (Ludwig von Bertalanffy), a cibernetica (Norbert Wiener) e a teoria da evolução. A Figura 2 apresenta os elementos de um sistema autoadaptativo.

Modelos matemáticos como autômatos celulares e redes complexas são utilizados para descrever e simular esses sistemas. Algoritmos adaptativos, como redes neurais e algoritmos genéticos, simulam processos de aprendizado e evolução para melhoria contínua do desempenho (Salehie; Tahvildari, 2009).

Figura 2 – Elementos de um sistema autoadaptativo

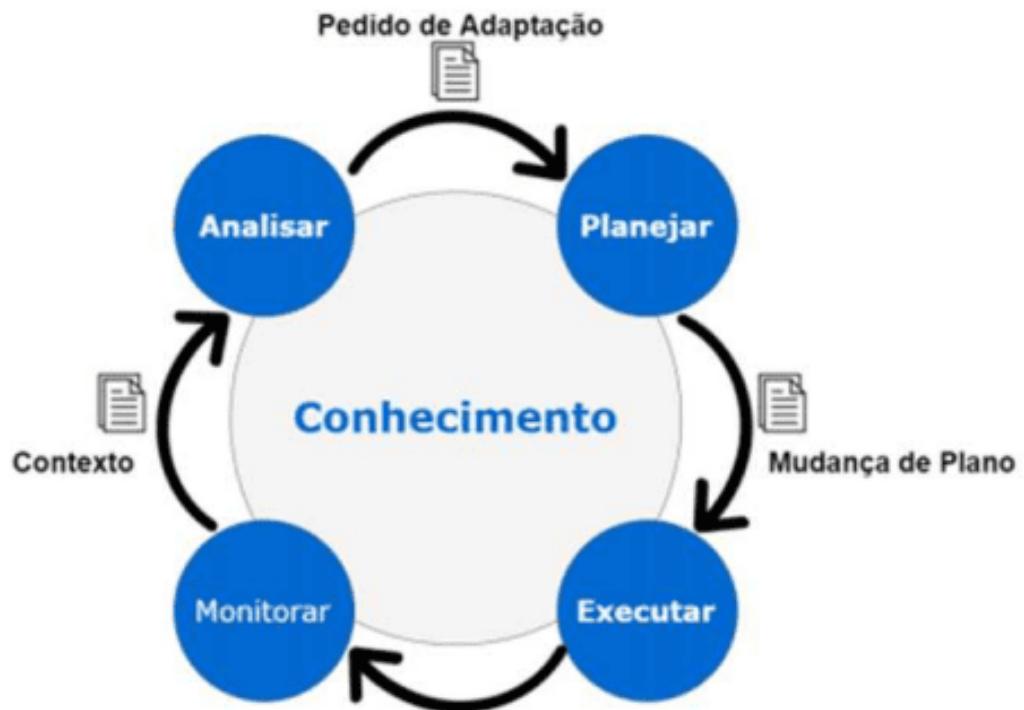


Fonte: Adaptado de Lemos *et al.* (2013) e Costa *et al.* (2018).

2.6.1 *Loop de adaptação*

Para que a adaptação ocorra corretamente, é preciso responder a questões como: Por que, o que, quando e quem deve gerenciar a adaptação (Inverardi e Tivoli, 2007). Para responder a essas questões, sistemas autoadaptativos seguem um ciclo de controle conhecido como MAPE-K (Monitor-Analyze-Plan-Execute-Knowledge) (Salehie; Tahvildari, 2009). Esse modelo permite coordenar e evoluir o sistema em tempo de execução. O loop é composto por quatro fases (Monitoramento, Análise, Planejamento, Execução) e um componente central de Conhecimento (K). A Figura 3 ilustra este ciclo.

Figura 3 – *Loop* de adaptação MAPE-K



Fonte: Costa *et al.* (2018).

Na fase de **Monitoramento**, o sistema coleta dados sobre seu estado e o ambiente. A fase de **Análise** examina esses dados para identificar a necessidade de uma mudança. O **Planejamento** determina o que deve ser alterado e como. Por fim, a **Execução** realiza as ações planejadas (INVERARDI; TIVOLI, 2007; SALEHIE; TAHVILDARI, 2009).

O componente de **Conhecimento (K)** é uma base de dados sobre o sistema (políticas, requisitos, objetivos) que é consultada e atualizada a cada ciclo do loop (Costa Junior et al., 2018).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos estudos recentes abordam soluções tecnológicas para monitoramento de saúde, especialmente para idosos, por meio de IoHT. Este Capítulo destaca os principais trabalhos relacionados, que, assim como o presente estudo, buscam melhorar a qualidade de vida dos idosos por meio de dispositivos inteligentes e aplicativos móveis, identificação de padrões de movimento e detecção de riscos, como quedas.

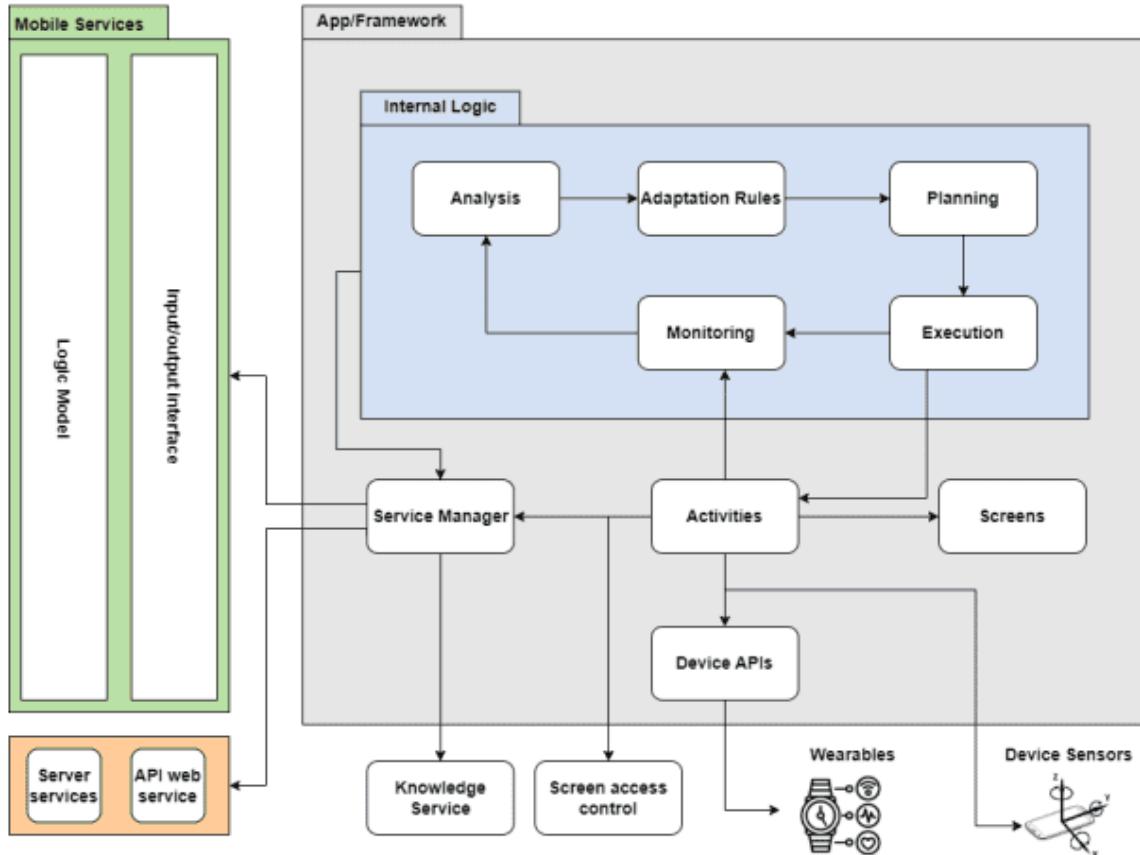
3.1 PARTNER: Plataforma de desenvolvimento para IoHT autoadaptável Microserviços de aplicativos

O estudo de (Costa Junior *et al*, 2024) propõe uma plataforma de desenvolvimento IoHT auto-adaptativa baseada em microsserviços, com um aplicativo móvel que utiliza sensores de smartphones e vestíveis. Seu sistema é capaz de detectar quedas por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, oferecendo flexibilidade na adaptação a diferentes contextos, como tipo de rede e nível de bateria. Contudo, embora também tenha como objetivo a melhoria da segurança e qualidade de vida dos idosos, este trabalho se diferencia por seu foco no monitoramento diário, usando um anel inteligente que permite um sensoriamento contínuo e discreto, ideal para análise de sono e movimentos sutis.

A plataforma é composta por dois módulos principais: um módulo móvel, que inclui um framework desenvolvido em React Native e um conjunto de serviços para facilitar a coleta e o processamento de dados, e um módulo servidor, que oferece suporte a serviços que exigem maior capacidade de processamento, como algoritmos de aprendizado de máquina e segurança de dados. O framework da plataforma incorpora o ciclo de adaptação MAPE-K, permitindo que as aplicações se ajustem automaticamente às mudanças no contexto. A Figura 4 apresenta a arquitetura da plataforma.

A metodologia utilizada na pesquisa seguiu o *Pesquisa Científica Baseada em Design (DSR)*, estruturado em cinco etapas: conscientização do problema, sugestão de solução, desenvolvimento, avaliação e conclusão. O desenvolvimento do módulo móvel da PARTNER e da FRIEND foi conduzido utilizando a metodologia ágil SCRUM. Para validar a aceitação da aplicação, foi conduzido um experimento baseado no TAM, no qual seis idosos utilizaram a FRIEND por duas semanas e responderam a questionários sobre usabilidade e utilidade percebida.

Figura 4 – Arquitetura mobile da plataforma PARTNER

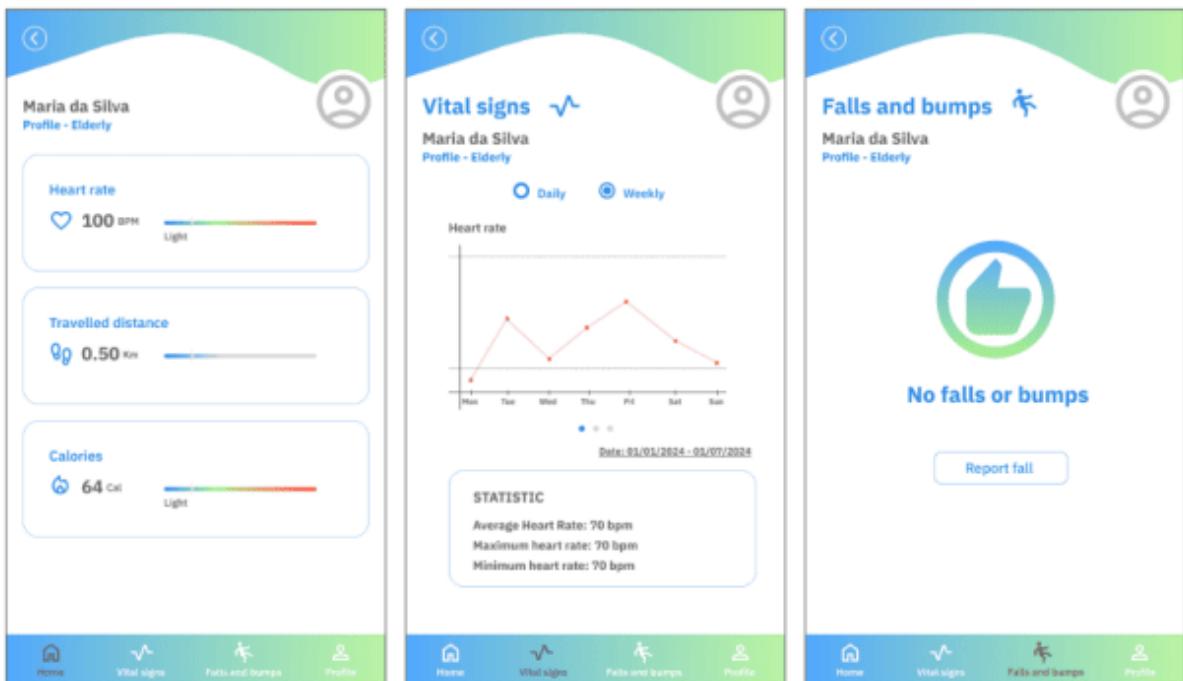


Fonte: Adaptado de Costa Junior et al. (2024, p. 355).

Para avaliar a funcionalidade da PARTNER, foi desenvolvido um Prova de Conceito (POC) chamada FRIEND, uma aplicação móvel autoadaptativa que monitora dados de saúde de pacientes e detecta riscos de queda. A FRIEND coleta informações de sensores de smartphones e dispositivos vestíveis, como smartbands e smartwatches, integrando-se à API do Google Fit. A aplicação diferencia a experiência do paciente e do cuidador, permitindo o acompanhamento remoto da saúde e o envio de alertas em caso de eventos críticos. A Figura 5 ilustra a aplicação FRIEND desenvolvida no trabalho utilizando a plataforma PARTNER.

Os resultados do experimento indicaram que a FRIEND foi considerada útil e fácil de usar por grande parte dos participantes, tanto pacientes quanto cuidadores. No entanto, algumas melhorias foram identificadas, como a necessidade de ajustes na apresentação dos dados e na velocidade das respostas do sistema. A pesquisa demonstra que a PARTNER oferece um suporte eficiente para o desenvolvimento de aplicações IoHT autoadaptativas, possibilitando a criação de sistemas mais robustos e adaptáveis às necessidades dos usuários.

Figura 5 – Aplicação FRIEND.



Fonte: Adaptado de Junior et al. (2024)

3.2 Estrutura de assistência médica inteligente para vida assistida em ambiente usando técnicas de IoHT e análise de big data

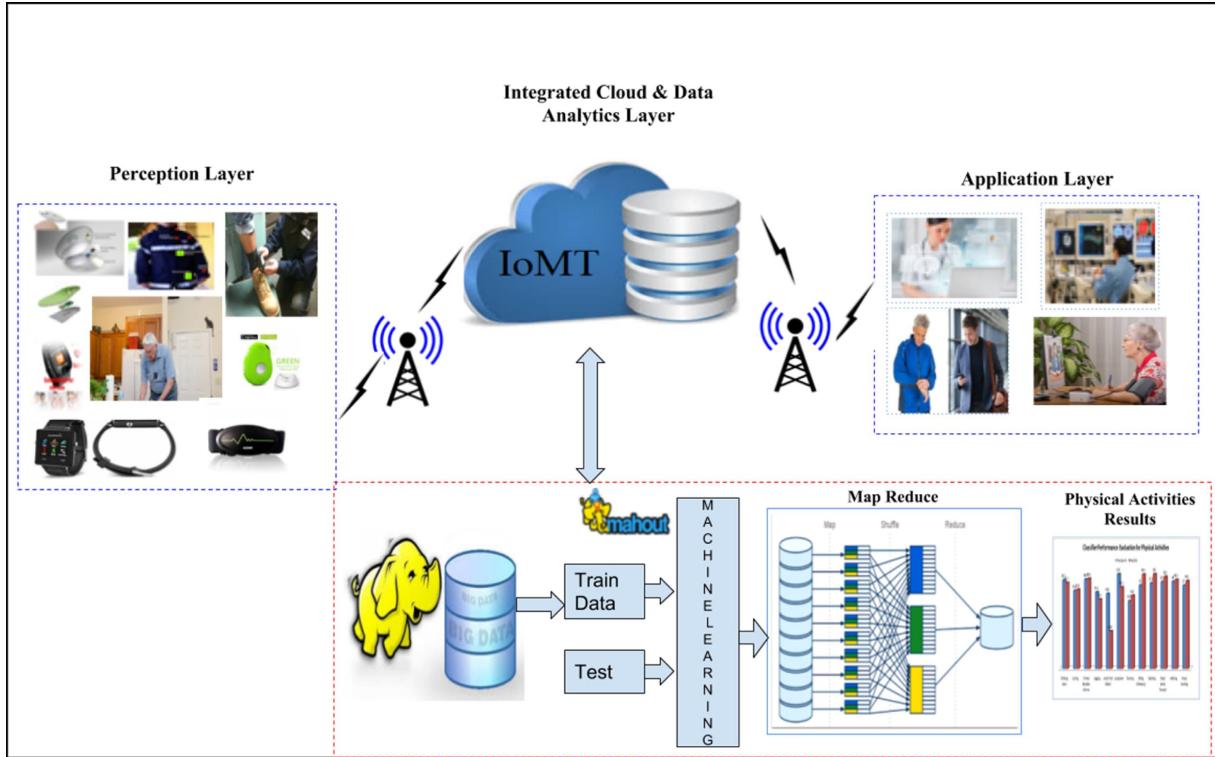
O trabalho de (Syed *et al.*, 2019) discute um framework para ambientes de vida assistida integrando e análise de grandes dados. Embora proponha monitoramento contínuo e diagnóstico precoce, a abordagem se mostra genérica.

A metodologia do estudo envolve a integração de sensores no tornozelo esquerdo, braço direito e tórax, transmitindo dados para uma camada de processamento baseada em IoHT e Big Data Analytics. Para lidar com grandes volumes de dados, foi empregada a técnica de Hadoop MapReduce e um classificador Multinomial Naïve Bayes, permitindo uma análise escalável e paralela. Esse modelo identificou 12 tipos diferentes de atividades físicas, atingindo uma precisão global de 97,1% na classificação de movimentos.

A principal contribuição do estudo é a demonstração de que a combinação de IoHT, aprendizado de máquina e Big Data pode melhorar o monitoramento da saúde de idosos, fornecendo recomendações para detecção de riscos e otimização do tratamento. O framework desenvolvido possibilita a detecção antecipada de quedas, padrões anômalos de movimento e condições médicas críticas, permitindo que cuidadores e profissionais de saúde tomem ações preventivas de maneira remota. A Figura 6 apresenta o ecossistema de IoHT utilizado no

trabalho.

Figura 6 – Ecossistema de dispositivos IoT..



Fonte: Adaptado de (Syed *et al.*, 2019)

Os resultados experimentais validam a eficácia do modelo, demonstrando sua viabilidade para aplicações em monitoramento contínuo da saúde e assistência domiciliar. A alta precisão da classificação de atividades sugere que a abordagem proposta pode ser integrada a sistemas de telemedicina, casas inteligentes e assistência médica remota para melhorar a qualidade de vida de idosos e reduzir custos operacionais nos serviços de saúde.

Este estudo reforça a importância de tecnologias emergentes na saúde digital, destacando como análise de Big Data e aprendizado de máquina podem ser combinados com sensores vestíveis para oferecer um monitoramento mais eficiente. O trabalho demonstra que a integração dessas tecnologias pode trazer benefícios significativos para assistência médica remota e detecção de doenças em idosos, promovendo maior autonomia e segurança para essa população. A escolha de um anel inteligente para o presente estudo resolve parte dessa limitação ao oferecer uma solução menos intrusiva em comparação com outras abordagens que utilizam câmeras ou sensores ambientais (Balaji *et al.*, 2018).

3.3 Processo de desenvolvimento para aplicações autoadaptativas da internet das coisas da saúde com base em padrões de movimento

(Costa Junior *et al*, 2021) propõem um processo de desenvolvimento para aplicações autoadaptativas da Internet das Coisas para a Saúde (IoHT) baseadas em padrões de movimento em dispositivos móveis. O processo adapta abordagens de reutilização de componentes e incorpora elementos para a construção de sistemas autoadaptativos. Para apoiar esse processo, são propostos cinco artefatos: uma taxonomia para relacionar dados de sensores e condições de saúde, um gráfico de correlação entre dados de sensores, características de movimento e situações de saúde, um modelo baseado no ciclo MAPE-K, um template para construção de regras de adaptação e um framework para facilitar a implementação.

O processo de desenvolvimento proposto é dividido em tempo de design e tempo de execução. No tempo de design, ocorrem atividades como especificação de requisitos, seleção de componentes reutilizáveis, projeto do sistema, implementação e verificação. No tempo de execução, o sistema continua sendo monitorado e adaptado automaticamente, sem necessidade de interrupções, seguindo os princípios dos sistemas autoadaptativos.

A primeira prova de conceito busca validar se o processo pode orientar o desenvolvimento de aplicações autoadaptativas IoHT, além de identificar melhorias nos artefatos. Posteriormente, uma nova prova de conceito será avaliada por idosos e profissionais da saúde, verificando a adequação do processo para esse público-alvo. Além disso, será conduzido um experimento com desenvolvedores de sistemas IoHT, onde os participantes receberão treinamento e deverão implementar pequenas aplicações usando o processo proposto. O feedback coletado nessas etapas permitirá refinar e aprimorar o modelo.

Os resultados incluem uma versão inicial do processo, assim como os primeiros modelos do gráfico de correlação, template de regras de adaptação e modelo de sistemas autoadaptativos. Atualmente, os pesquisadores estão construindo a primeira prova de conceito e iniciando o desenvolvimento da taxonomia de sensores e padrões de movimento. O estudo destaca a importância da combinação de sistemas autoadaptativos, reutilização de componentes e modelagem de conhecimento para facilitar o desenvolvimento de aplicações IoHT, tornando-as mais eficientes, menos intrusivas e mais adequadas às necessidades dos usuários.

Embora sua pesquisa forneça uma base sólida para a adaptação de sistemas IoHT, a implementação no contexto noturno, com ajustes específicos para reduzir o consumo de bateria e melhorar a precisão em movimentos de baixa intensidade, é uma inovação do presente trabalho.

Além disso, a avaliação de aceitação do usuário, fundamentada no modelo TAM (Silva, 2015), é adaptada para o contexto noturno, priorizando aspectos como interfaces de baixo brilho e notificações silenciosas.

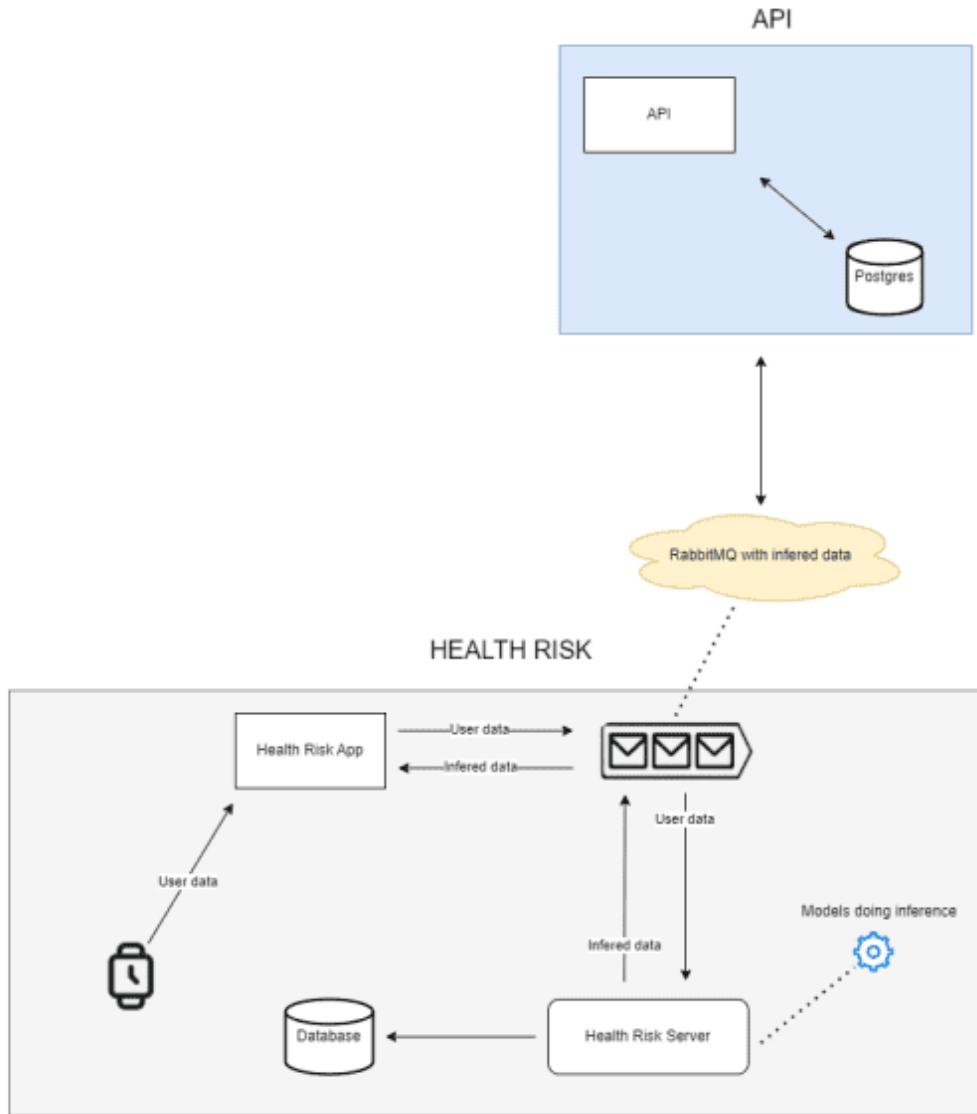
3.4 FallReportAPI: Integração de Sistemas de Saúde Digital para Detecção de Quedas em Sistemas Hospitalares

O trabalho de (Mendes *et al.*, 2024) apresenta o desenvolvimento da FallReportAPI, uma API para integração de sistemas digitais de saúde voltados para detecção de quedas em hospitais. A API conecta o Health Risk, um sistema móvel baseado em IoT para detecção de quedas, ao Smart Hospital, um sistema de gestão hospitalar. O objetivo principal é reduzir o tempo de resposta no atendimento a pacientes que sofreram quedas, permitindo que notificações geradas pelo Health Risk sejam enviadas automaticamente para o Smart Hospital, otimizando o fluxo de atendimento médico.

Para embasar a implementação, foi realizada uma revisão da literatura sobre Internet das Coisas na saúde, analisando padrões de desenvolvimento e exemplos de sistemas bem-sucedidos. A FallReportAPI foi desenvolvida utilizando Java e Spring Boot, com RabbitMQ para troca de mensagens e PostgreSQL como banco de dados. A API foi testada por meio de testes funcionais e de desempenho, garantindo seu funcionamento adequado. A figura 7 apresenta a integração entre o aplicativo Health Risk e a API.

Os testes demonstraram que a integração entre os sistemas é eficiente e possibilita a comunicação imediata entre a detecção de quedas e a equipe hospitalar. Além disso, foi realizada uma análise do impacto dessa tecnologia no tempo de resposta para atendimento emergencial. Comparando-se com métodos tradicionais, como chamadas telefônicas ao SAMU, o uso da API possibilita uma redução significativa no tempo necessário para notificar quedas e acionar o atendimento médico.

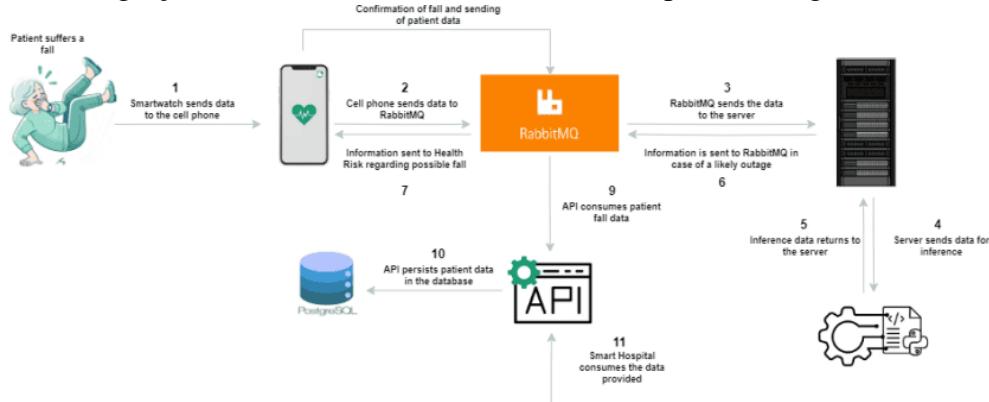
Figura 7 – Diagrama de integração



Fonte: Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2024).

Os resultados indicam que a FallReportAPI pode melhorar a eficiência do atendimento hospitalar, especialmente para pacientes idosos e indivíduos com alto risco de quedas. Como trabalho futuro, sugere-se a implementação de geolocalização para fornecer a posição exata do paciente no momento da queda, além da ampliação da API para monitoramento de outras emergências médicas, como ataques cardíacos e crises epilépticas, utilizando dados de dispositivos conectados. A Figura 8 representa a implementação completa da API do relatório de queda, ilustrando a comunicação com o Health Risk e a transferência de dados para o Smart Hospital.

Figura 8 – Integração de sistemas de Risco à Saúde e Hospitais Inteligentes



Fonte: Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2024).

3.5 Comparação dos Trabalhos Relacionados com o Proposto

A Figura 9 sintetiza as principais características dos trabalhos analisados em diálogo com a proposta deste estudo. A análise a seguir aprofunda essa comparação, destacando como o presente trabalho se posiciona e contribui para o campo de pesquisa existente.

A análise dos trabalhos relacionados revela um campo de pesquisa ativo e em constante evolução. A plataforma PARTNER de (Costa Junior *et al*, 2024), por exemplo, oferece uma arquitetura robusta baseada em microsserviços que inspira a escalabilidade futura do nosso projeto. O "*RingCare*" busca aplicar esses conceitos em uma solução de ponta a ponta, direcionando o foco para um hardware específico de baixo custo e para a experiência do usuário final com um aplicativo nativo.

Em relação à estrutura de Syed *et al.* (2019), que demonstra a eficácia da fusão de múltiplos sensores para uma classificação precisa, nossa solução explora uma via alternativa. Priorizamos a discrição e o conforto ao consolidar o monitoramento em um único anel inteligente, buscando um equilíbrio entre a riqueza dos dados e a adesão do usuário no dia a dia.

O processo de desenvolvimento proposto por (Costa Junior *et al*, 2024) fornece uma base teórica valiosa para sistemas autoadaptativos. Nossa projeto busca aplicar esses conceitos em um cenário prático, explorando como os princípios de sensibilidade ao contexto podem ser adaptados para um hardware com restrições energéticas e focado em dados de saúde específicos.

Por fim, a FallReportAPI de Mendes *et al.* (2024) representa uma solução complementar, especializada na integração de sistemas com a infraestrutura hospitalar. Enquanto ela resolve o problema da comunicação no backend, o "*RingCare*" concentra-se na outra extremidade do ecossistema: a coleta de dados e a interação direta com o usuário. Em síntese, o presente

Figura 9 – Diálogo entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto

Estudo	Tecnologias	Pontos Fortes	Limitações / Foco	Relacionamento com este Trabalho
Costa Junior <i>et al.</i> , 2024	IoHT, Arquitetura baseada em microserviços, Autoadaptação	Alta modularidade e escalabilidade, facilidade de integração	Foco em ser um framework de desenvolvimento, abstraindo o hardware específico	Inspira a arquitetura da solução, que pode evoluir para um modelo de microserviços para maior escalabilidade.
Syed <i>et al.</i> (2019)	IoHT, Big Data, Machine Learning, Hadoop MapReduce	Alta precisão na análise de dados, suporte a grandes volumes de informação	Alto custo computacional, pode exigir múltiplos sensores e conexão constante	Demonstra o potencial da análise de dados, que pode ser aplicada de forma otimizada aos dados coletados pelo anel.
Costa Junior <i>et al.</i> , 2021	IoHT, MAPE-K, Auto-adaptação, Sensores de Movimento	Adaptação em tempo real, uso eficiente de sensores para monitoramento	Foco principal em padrões de movimento, não em outros sinais vitais	Oferece uma base conceitual valiosa para a autoadaptação, que é aplicada neste trabalho em um contexto de hardware de baixo custo.
Mendes <i>et al.</i> (2024)	IoHT, API REST, Spring Boot, RabbitMQ, PostgreSQL	Integração eficiente entre sistemas hospitalares, melhora no tempo de resposta	Focada na comunicação backend (infraestrutura hospitalar), não na coleta de dados no usuário.	Apresenta um modelo de integração via API que pode ser adotado para conectar o "Ring-Care" a sistemas de saúde externos.
Este trabalho	Anel inteligente, App nativo (Android), <i>Health Connect</i> , BLE	Foco no baixo custo e na usabilidade com dispositivo único (anel); integração com ecossistema Android	Dependência de hardware específico; foco em monitoramento preventivo, não em diagnóstico clínico	Propõe uma abordagem focada na experiência do usuário e na integração com dispositivos comerciais de baixo custo.

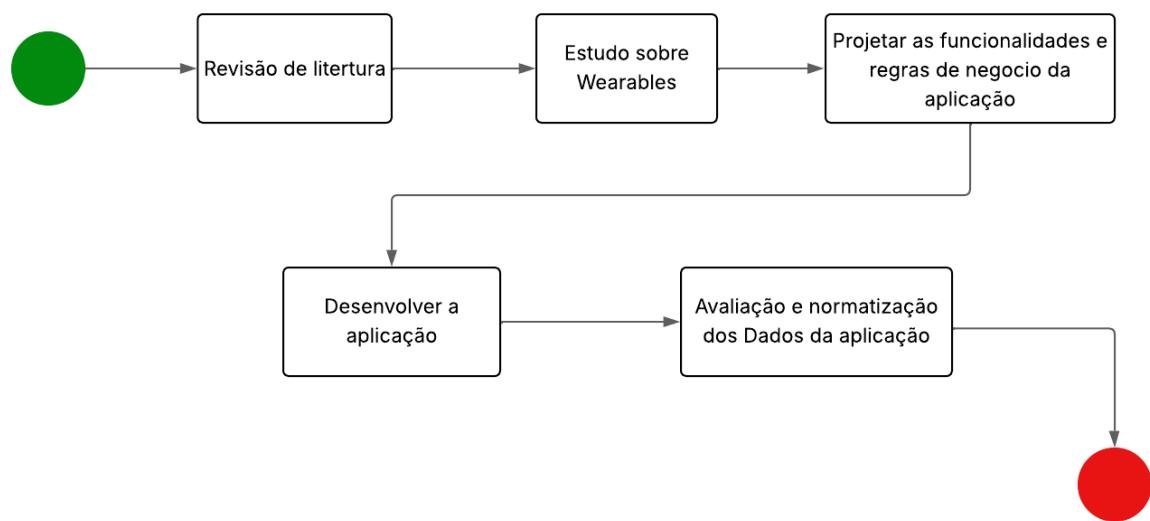
Fonte: Elaborado pelo autor.

trabalho busca contribuir com o ecossistema de soluções IoHT ao apresentar uma abordagem que valoriza o baixo custo, a descrição do monitoramento e a integração com plataformas de saúde já consolidadas no mercado.

4 METODOLOGIA

Este Capítulo será apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo. Inicialmente, é realizada uma revisão de literatura para embasar teoricamente a pesquisa, abordando conceitos e tecnologias relevantes. Em seguida, é conduzido um estudo sobre dispositivos *vestíveis*, destacando suas categorias, funcionalidades e aplicações no monitoramento da saúde e qualidade de vida. Em seguida é realizada a projeção de funcionalidades da aplicação, o desenvolvimento e a avaliação e testes com usuários finais.

Figura 10 – Passos para execução do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Revisão de Literatura

A revisão de literatura investigará as tecnologias emergentes aplicadas à saúde, enfatizando a integração de dispositivos IoT, sistemas ubíquos e sensores vestíveis. Esse levantamento teórico evidenciará como o uso de dados em tempo real poderá melhorar o monitoramento da saúde dos idosos, permitindo intervenções mais rápidas e precisas. A fundamentação abrangerá desde conceitos básicos de Internet das Coisas Médicas até os desafios relacionados à interoperabilidade, segurança dos dados e usabilidade, essenciais para o desenvolvimento de sistemas voltados ao monitoramento.

Além disso, a revisão destacará estudos e modelos que demonstrarão a eficácia dos dispositivos vestíveis e a importância de sistemas autoadaptativos. Os conceitos discutidos

servirão como base para a proposição de soluções inovadoras, capazes de integrar diferentes tecnologias para melhorar a qualidade de vida dos usuários. Essa abordagem teórica orientará o desenvolvimento de aplicações que se adaptarão ao contexto do usuário, contribuindo para a detecção de acidentes e a melhoria dos cuidados com a saúde.

4.2 Estudo sobre Dispositivos vestíveis

O estudo sobre dispositivos vestíveis analisará as diversas categorias existentes, como smartwatches, pulseiras fitness e anéis inteligentes, destacando suas funcionalidades, vantagens e limitações. A pesquisa focará na capacidade desses dispositivos em monitorar sinais fisiológicos, como frequência cardíaca, padrões de sono e atividade física, essenciais para a detecção precoce de riscos à saúde. Essa análise permitirá identificar as características técnicas de cada dispositivo, como tipos de sensores, conectividade e autonomia de bateria, que influenciarão sua eficácia no monitoramento contínuo.

Adicionalmente, a investigação comparará os vestíveis disponíveis no mercado, evidenciando aspectos como precisão dos dados, facilidade de uso e custo-benefício. Essa avaliação comparativa será fundamental para selecionar as melhores tecnologias para integração ao sistema proposto, garantindo que a solução seja não apenas eficaz, mas também acessível e adaptada às necessidades do público-alvo. O estudo, assim, contribuirá para o refinamento da proposta tecnológica e para a identificação de oportunidades de inovação no campo do monitoramento de saúde.

4.3 Projetar as Funcionalidades e Regras de Negócio da Aplicação

A definição dos requisitos funcionais e não funcionais da aplicação foi realizada por mim, com base em uma revisão da literatura científica e tecnológica relacionada a dispositivos vestíveis para a área da saúde, e monitoramento de idosos. A partir dessa fundamentação, conduzi uma sessão de *brainstorm* para levantar ideias e funcionalidades alinhadas aos objetivos do sistema, considerando as limitações e capacidades do anel inteligente Colmi Ring R06, bem como as necessidades específicas do público-alvo: usuários idosos em monitoramento noturno.

Esse processo possibilitou antecipar cenários reais de uso e possíveis situações de risco, assegurando que a aplicação fosse intuitiva, segura e eficiente. Os requisitos foram, então, refinados com base nas boas práticas identificadas na literatura e nas soluções consolidadas no

mercado, resultando em um conjunto de funcionalidades e regras de negócio que equilibram viabilidade técnica, usabilidade e confiabilidade na comunicação entre o anel e o aplicativo móvel.

4.3.1 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais descrevem as principais funcionalidades do sistema, abrangendo desde a interação do usuário até o processamento de dados de saúde.

Primeiramente, o sistema estabelece um login com dois perfis de usuário distintos: “Paciente” e “Cuidador”. Para o paciente, o acesso se inicia com um processo de login simplificado via *Google*. O paciente pode então configurar seu perfil com poucas alterações nome e data de nascimento. O perfil de “Cuidador” permite que cuidadores e profissionais de saúde visualizem os dados de seus pacientes, acessando um painel com uma lista paginada e um filtro de pesquisa por nome. A vinculação entre cuidador e paciente é realizada via e-mail.

O núcleo da aplicação é o painel de controle (*dashboard*), que exibe os dados de saúde do usuário-paciente em tempo real. As métricas monitoradas incluem oxigenação sanguínea (SpO2), contagem de passos, frequência cardíaca e padrões de sono. Cada métrica é apresentada em seu próprio card, com informações sobre os valores recomendados e representação visual do estado atual. A aplicação exibe as métricas de saúde por meio de gráficos intuitivos. Dados como oxigenação, passos, frequência cardíaca e padrões de sono são apresentados visualmente, mostrando tanto os valores atuais quanto um histórico completo, o que permite acompanhar a evolução do usuário ao longo do tempo.

Um componente crítico do sistema é a capacidade de detectar eventos de risco e emitir alertas. Caso uma queda seja detectada, o sistema notificará imediatamente o cuidador responsável. De forma semelhante, batimentos cardíacos perigosamente altos gerarão um alerta primário para o próprio paciente, que terá 30 segundos para confirmar que está bem. Caso não haja confirmação, o alerta será enviado ao cuidador. O sistema também enviará mensagens de incentivo para metas alcançadas e ativará um alarme sonoro com a mensagem “É hora de acordar!” caso detecte sono em excesso.

Por fim, a comunicação entre os usuários é projetada para ser segura e controlada. Apenas o cuidador pode enviar mensagens de *feedback* ao paciente, utilizando uma caixa de texto na interface.

4.3.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais definem os critérios de qualidade do sistema. Quanto à usabilidade, a interface foi projetada com foco na clareza, utilizando um painel principal com cards visuais. Cada card é dedicado a uma métrica específica como Frequência Cardíaca (FC), SpO₂ e Sono ou a dados de atividade, como Passos e Calorias, permitindo que o usuário identifique rapidamente seu estado de saúde.

Quanto ao **comportamento do sistema**, a aplicação deve ter a capacidade de sobrepor as permissões do sistema operacional e efeitos sonoros em situações de emergência, como sono excessivo, garantindo que os alertas sejam eficazes. A **interoperabilidade** é garantida pela sincronização de dados entre o paciente e o médico e pela conexão contínua entre o aplicativo e o dispositivo vestível.

4.4 Desenvolver a Aplicação

Na etapa de desenvolvimento, o foco está na implementação prática do sistema, unindo a parte de *hardware* e software para criar uma solução integrada. O desenvolvimento envolve a codificação do aplicativo móvel e a integração com o anel inteligente, garantindo que os dados dos sensores sejam coletados, transmitidos em tempo real. São aplicadas metodologias ágeis para permitir adaptações contínuas durante o processo, assegurando que o sistema atenda aos requisitos de desempenho e confiabilidade.

Durante a fase de desenvolvimento, são realizados testes preliminares para validar a eficácia da comunicação entre os dispositivos. Essa etapa é crucial para identificar e corrigir possíveis falhas, garantindo que o sistema responda adequadamente aos desafios do monitoramento. A integração dos componentes e a verificação contínua da performance do sistema asseguram uma base sólida para a implementação final, contribuindo para a robustez e a eficiência da solução.

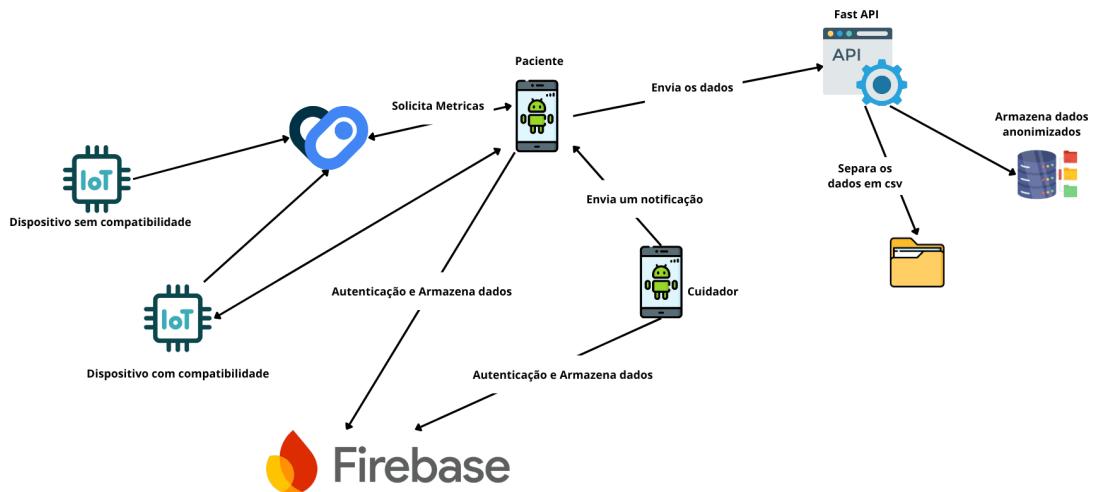
5 RINGCARE - APP DE MONITORAMENTO

Este capítulo será detalhado a arquitetura técnica do sistema de monitoramento. A abordagem cobre tanto a estrutura geral, descrevendo a interação entre a aplicação móvel, as diversas fontes de dados e os serviços na nuvem, quanto a arquitetura interna da aplicação, que utiliza um padrão de design para separar responsabilidades e garantir um código organizado. O objetivo é apresentar a base tecnológica que sustenta todas as funcionalidades do projeto.

5.1 Arquitetura Geral do Sistema

A solução foi desenvolvida sob uma arquitetura de *cliente-servidor*, na qual a aplicação móvel *Android* atua como o componente central. Este aplicativo orquestra a integração de múltiplas fontes de dados, tanto locais quanto remotas, para oferecer uma plataforma robusta e completa de monitoramento de saúde. A estrutura geral, ilustrada na Figura 11, demonstra como o aplicativo se conecta a dispositivos vestíveis, sensores do *smartphone*, à plataforma *Health Connect* e a serviços de *backend* para autenticação, armazenamento e processamento avançado de dados.

Figura 11 – Arquitetura Geral



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *frontend* do sistema é materializado na aplicação *Android*, que funciona como o principal ponto de interação para o usuário. A interface, construída de forma moderna com

Jetpack Compose, é iniciada por uma atividade principal que gerencia o ciclo de vida da aplicação. A transição entre as diferentes telas é controlada por um componente de navegação centralizado, que define as rotas e os fluxos de interação. Além disso, para garantir a contínua sincronização de dados sem impactar a experiência do usuário, um gerenciador de tarefas em segundo plano é configurado na inicialização do aplicativo, agendando operações periódicas e robustas de envio de dados para a nuvem.

A coleta de dados no dispositivo é multifacetada, combinando informações de diversas fontes para criar um perfil de saúde detalhado e em tempo real. A fonte primária de informações contínuas é um anel inteligente, que se comunica com o aplicativo via BLE. A lógica de conexão, o envio de comandos e o tratamento de notificações são encapsulados em um conector *BLE* dedicado, enquanto um serviço de monitoramento persistente mantém a coleta de dados em segundo plano, sendo também responsável por implementar o algoritmo de detecção de quedas. Outra fonte de dados vital é a plataforma de saúde do *Android* (*Health Connect*), que centraliza informações de saúde. A aplicação se integra a ela por meio de um gerenciador de conexão que lida com as permissões de acesso, permitindo que repositórios específicos leiam dados de forma transparente. Por fim, os sensores internos do próprio *smartphone*, como o acelerômetro e o giroscópio, são utilizados como uma fonte complementar, sendo gerenciados por um repositório e um serviço de monitoramento dedicados.

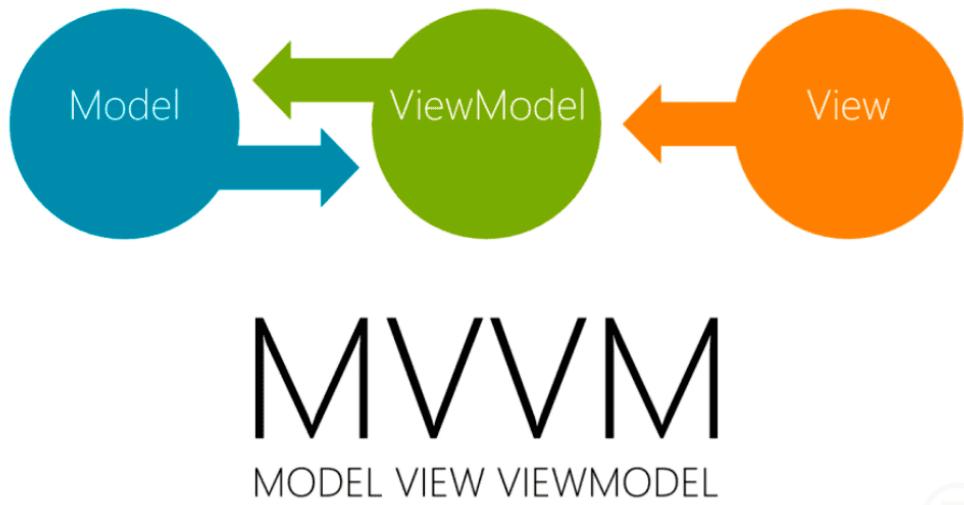
A aplicação se comunica com serviços na nuvem para garantir a persistência, segurança e processamento avançado dos dados. A plataforma *Firebase* é utilizada como uma solução de *Backend-as-a-Service (BaaS)* para funcionalidades cruciais, incluindo a autenticação de usuários via *Firebase Auth*, o armazenamento de dados de saúde e de perfis em um banco de dados *NoSQL (Firestore)*, e o *upload* de arquivos, como imagens de perfil, através do *Firebase Storage*. Adicionalmente, um serviço de *backend* customizado, desenvolvido com *FastAPI*, é empregado para análises mais complexas. A comunicação com esta API é realizada por meio de uma interface de rede bem definida, e um repositório de sincronização é responsável por agregar os dados, montar pacotes de informações (*payloads*) e enviá-los para processamento.

5.2 Arquitetura Interna da Aplicação (MVVM)

Internamente, a aplicação *Android* foi estruturada segundo o padrão arquitetural *Model-View-ViewModel (MVVM)*, conforme detalhado na Figura 12. Essa abordagem promove uma separação clara de responsabilidades entre a interface do usuário (*View*), a lógica de

apresentação (*ViewModel*) e a gestão de dados (*Model*), resultando em um código-fonte mais organizado, modular, testável e de fácil manutenção.

Figura 12 – Diagrama do Padrão MVVM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A camada de Apresentação (*View*) é construída de forma totalmente declarativa com a tecnologia *Jetpack Compose*. Esta camada é responsável exclusivamente por renderizar a interface do usuário e delegar as interações, como cliques e gestos, para o *ViewModel*. Ela é composta por um conjunto de telas (*Screens*) que definem a estrutura de cada seção da aplicação, e por componentes (*Components*) de UI reutilizáveis, como cartões de dados e gráficos. A consistência visual é garantida por um sistema de temas que define a paleta de cores e a tipografia. A *View* observa o estado exposto pelo *ViewModel* e reage automaticamente a qualquer mudança, redesenhando apenas as partes necessárias da interface.

A camada de *ViewModel* atua como uma ponte entre a *View* e o *Model*. Sua principal responsabilidade é conter a lógica de apresentação e gerenciar o estado da interface do usuário (*UI State*). Os *ViewModels* preparam os dados recebidos do *Model* para serem exibidos de forma amigável e processam as ações do usuário, invocando as operações de negócios correspondentes. O estado da UI (como *Loading*, *Success* ou *Error*) é modelado através de classes seladas e exposto de forma reativa, utilizando *StateFlow*, o que garante que a *View* e o *ViewModel* permaneçam desacoplados e que o estado da aplicação seja previsível.

A camada de Modelo (*Model*) é o pilar da aplicação, funcionando como a fonte única da verdade para todos os dados. Ela é responsável por toda a lógica de negócios, pela gestão dos

dados e pela comunicação com as fontes externas. No topo desta camada estão os *Repositories*, que abstraem a origem dos dados e fornecem uma API limpa para os *ViewModels*. As fontes de dados (*Data Sources*) são diversas, incluindo fontes remotas (clientes para *Firebase* e a API customizada) e locais (uma base de dados SQL gerenciada pelo *Room*, com suas respectivas *Entidades* e *DAOs*, além de repositórios para gerenciar as preferências do usuário). A execução de tarefas de longa duração é delegada a componentes para operações em segundo plano, como *Services* e *Workers*, enquanto *Broadcast Receivers* respondem a eventos do sistema. A coesão de toda esta camada é mantida por um sistema de injeção de dependência (*Hilt*), que gerencia a criação e o fornecimento de todas as instâncias necessárias.

5.3 Elicitação de Requisitos

A definição dos requisitos funcionais e não funcionais da aplicação foi realizada pelo autor, com base em uma revisão da literatura científica e tecnológica relacionada a dispositivos vestíveis para a área da saúde, Internet das Coisas Médicas (IoHT) e monitoramento de idosos. A base inicial foi uma ampla revisão da literatura científica e tecnológica sobre temas centrais como dispositivos vestíveis para saúde, Internet das Coisas Médicas (IoHT) e o monitoramento de idosos. Essa etapa permitiu consolidar o conhecimento sobre o estado da arte e as boas práticas do setor.

Com base na fundamentação teórica, foi conduzida uma sessão de brainstorming para levantar ideias e funcionalidades alinhadas aos objetivos do sistema. Durante esse processo, foram consideradas as limitações e capacidades técnicas do *hardware* escolhido (o anel inteligente Colmi Ring R06), bem como as necessidades específicas do público-alvo, que são os usuários idosos em monitoramento. Esse processo possibilitou antecipar cenários reais de uso e possíveis situações de risco, assegurando que a aplicação fosse intuitiva, segura e eficiente. Os requisitos foram, então, refinados com base nas boas práticas identificadas na literatura e nas soluções consolidadas no mercado, resultando em um conjunto de funcionalidades e regras de negócio que equilibram viabilidade técnica, usabilidade e confiabilidade na comunicação entre o anel e o aplicativo móvel.

5.3.1 Requisitos Funcionais

Nesta subsecção, são detalhados os requisitos funcionais do aplicativo, que foram sistematicamente levantados conforme a metodologia descrita na Seção 4.3. Estes requisitos formam o pilar do projeto, servindo como a especificação formal que dita os comportamentos, as funcionalidades e a estrutura da solução proposta. Cada requisito foi cuidadosamente analisado e documentado não apenas para garantir a clareza do escopo, mas também para servir como um roteiro claro para as etapas de implementação e validação, assegurando que o produto final esteja perfeitamente alinhado com os objetivos iniciais traçados para o sistema "*RingCare*".

Para assegurar que os esforços de desenvolvimento fossem direcionados às funcionalidades de maior impacto e criticidade, foi estabelecido um esquema de priorização rigoroso, uma prática fundamental em engenharia de software para a gestão eficiente de recursos. Adotaram-se as denominações “**essencial**”, “**importante**” e “**desejável**” para cada requisito elencado durante a fase de elicitação. Essa classificação foi crucial para garantir que os recursos de segurança e monitoramento vitais, considerados o núcleo da proposta de valor do aplicativo, fossem desenvolvidos prioritariamente, alinhando a execução técnica aos objetivos centrais do trabalho.

A figura 13, apresentada a seguir, é o resultado direto desse processo de levantamento e classificação. Nela, encontram-se os requisitos funcionais do aplicativo "*RingCare*", detalhados com seus respectivos identificadores (RF <Número Identificador>), nomes, descrições e a prioridade atribuída a cada um, oferecendo uma visão completa do escopo funcional do sistema.

Figura 13 – Requisitos Funcionais do Aplicativo

ID	Nome	Descrição	Prioridade
RF01	Perfis de Usuário	O sistema deve suportar dois perfis distintos: “Paciente” e “Cuidador”, com funcionalidades específicas para cada um.	Essencial
RF02	Login Simplificado	O paciente deve poder realizar login na aplicação utilizando sua conta Google.	Essencial
RF03	Termos de Uso	O paciente deve aceitar os termos de uso para continuar. A recusa deve encerrar a aplicação.	Essencial
RF04	Configuração de Perfil	O paciente deve poder configurar seu perfil com foto e informações sociodemográficas.	Importante
RF05	Dashboard do Cuidador	O cuidador deve ter acesso a um painel com a lista de seus pacientes, incluindo um filtro de pesquisa por nome.	Essencial
RF06	Vinculação Paciente-Cuidador	A associação entre um cuidador e um paciente deve ser realizada via e-mail.	Importante
RF07	Dashboard de Saúde (Paciente)	O paciente deve ter um painel de controle que exibe suas métricas de saúde em tempo real (SpO2, passos, FC, sono).	Essencial
RF08	Detalhes de Métricas	Cada métrica no dashboard deve ser exibida em um card com valores recomendados e representação visual do estado atual.	Importante
RF09	Detecção de Queda	O sistema deve detectar quedas	Essencial
RF10	Alerta de Emergência (Queda)	O Sistema deve notificar o cuidador responsável	Essencial
RF11	Alerta de Frequência Cardíaca	O Sistema deve acionar um alerta para o cuidador e para a emergência em caso de picos perigosos de batimento cardíaco.	Essencial
RF12	Mensagens de Incentivo	O sistema deve enviar mensagens de incentivo ao paciente, como parabenizações por atingir metas de passos.	Desejável
RF13	Alarme de Sono Excessivo	Um alarme sonoro com a mensagem “É hora de acordar!” deve ser disparado se for detectado sono em excesso.	Importante
RF14	Feedback do cuidador	O sistema deve permitir que apenas o cuidador envie mensagens de feedback (geral ou por métrica) ao paciente.	Importante

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais definem os critérios de qualidade e os padrões de operação do sistema, sendo essenciais para a sua eficácia e confiabilidade. Atributos como tempo de resposta, usabilidade e interoperabilidade são a base para a confiança depositada na solução. Figura 14 detalha estes requisitos.

A Resposta Rápida em Emergência (RNF01) é o requisito mais crítico. Em um evento adverso, o alerta ao cuidador em no máximo 60 segundos é um limiar essencial para garantir uma intervenção rápida, tornando o aplicativo uma ferramenta de segurança proativa.

A Usabilidade da Interface (RNF02) é prioritária devido ao público-alvo. A interface foi projetada com clareza, utilizando cards visuais para as principais métricas, permitindo que usuários com pouca afinidade tecnológica interpretem rapidamente seu estado de saúde sem a necessidade de menus complexos.

O requisito de Sobreposição de Permissões (RNF03) é fundamental para a eficácia dos alertas de emergência. A aplicação deve ser capaz de sobrepor as configurações do sistema operacional, como o modo silencioso, garantindo que avisos sonoros críticos sejam sempre ouvidos.

Por fim, a Interoperabilidade (RNF04) garante a coesão do sistema "*RingCare*", assegurando a sincronização de dados contínua e confiável entre o dispositivo vestível, o paciente e o cuidador, o que é essencial para a funcionalidade central da solução.

Figura 14 – Requisitos Não Funcionais do Aplicativo

ID	Nome	Descrição	Prioridade
RNF01	Resposta Rápida em Emergência	Em caso de queda, o sistema deve alertar o cuidador em no máximo 60 segundos	Essencial
RNF02	Usabilidade da Interface	A interface deve ser intuitiva, com uma estrutura de navegação clara e uma apresentação de dados que facilite a rápida interpretação do estado de saúde do utilizador.	Importante
RNF03	Sobreposição de Permissões	A aplicação deve ser capaz de sobrepor permissões do SO para ativar sons em situações de emergência, garantindo a eficácia dos alertas.	Essencial
RNF04	Interoperabilidade	O sistema deve garantir a sincronização de dados contínua entre paciente, cuidador e o dispositivo vestível.	Essencial

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Diagrama de Caso de Uso do Aplicativo

Os diagramas de caso de uso da aplicação, modelados em notação Linguagem de Modelagem Unificada (UML), são apresentados nas Figuras 15 e 16. Eles foram elaborados com base nos requisitos funcionais e demonstram as principais interações previstas para os dois perfis de ator do sistema: o Usuário Monitorado (Paciente) e o Cuidador. O propósito destes diagramas é ilustrar de forma clara e objetiva as funcionalidades que cada ator pode executar, as dependências entre elas e a interação com sistemas externos, como o anel inteligente e o *Firebase*. Essa modelagem é fundamental para a compreensão da estrutura funcional da aplicação, servindo como um guia para o desenvolvimento, testes e futuras melhorias.

5.4.1 Interações do Usuário Monitorado (Paciente)

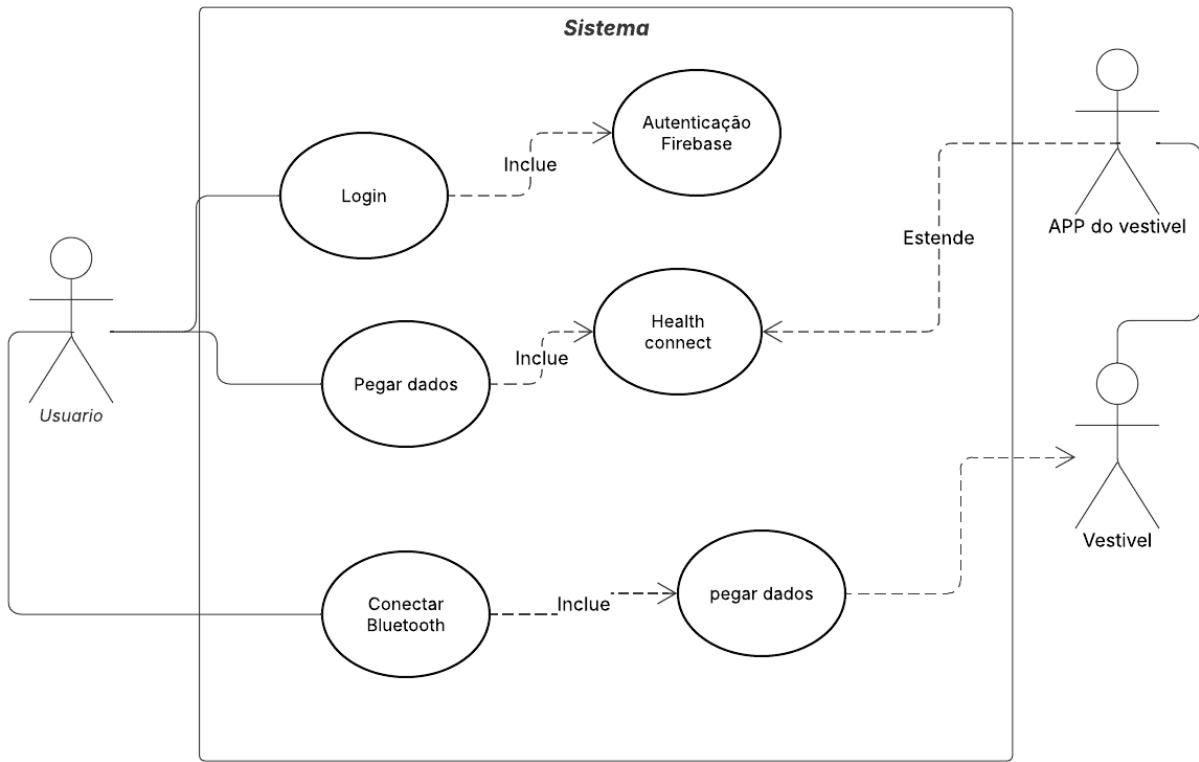
O diagrama de caso de uso do Paciente, apresentado na Figura 15, detalha um conjunto abrangente de funcionalidades focadas no auto-monitoramento, configuração e interação com o sistema de saúde. A jornada do usuário começa com a Autenticação no Sistema, que utiliza o *Firebase* para um acesso seguro. Após o primeiro acesso, o sistema guia o usuário para a Concessão de Permissões de saúde, uma etapa crucial para que o aplicativo possa ler dados da plataforma *Health Connect*. No uso diário, a principal funcionalidade é a Visualização do Painel de Saúde (*Dashboard*), onde são exibidos cartões com dados vitais consolidados, como frequência cardíaca, passos, sono e saturação de oxigênio. A partir do painel, o usuário pode Consultar Dados Detalhados, navegando para telas específicas que mostram históricos e gráficos interativos.

A coleta de dados é automatizada através da Sincronização com Dispositivos. O sistema realiza a sincronização com o anel inteligente para obter dados em tempo real via *Bluetooth* e também com o *Health Connect* para agregar informações de outras fontes. O usuário também possui controle total sobre as configurações da aplicação. Ele pode Gerenciar Contatos de Emergência, definindo a quem o sistema deve alertar em situações críticas, e também Definir Metas e Alertas, como um limite máximo para a frequência cardíaca ou uma meta diária de passos. Outras configurações incluem o Gerenciamento do Monitoramento, onde o usuário pode ativar ou pausar a coleta de dados do anel.

Por fim, o sistema é proativo em situações de risco. No caso de uma Detecção de Queda, por exemplo, ele aciona um diálogo de alerta com contagem regressiva para que o

usuário confirme seu bem-estar antes de notificar a emergência. Adicionalmente, o paciente pode interagir com seu supervisor ao Receber *Feedback* do Cuidador, visualizando mensagens e orientações enviadas pelo profissional que o acompanha diretamente no aplicativo.

Figura 15 – Diagrama de casos de uso(Paciente)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4.2 *Interações do Cuidador*

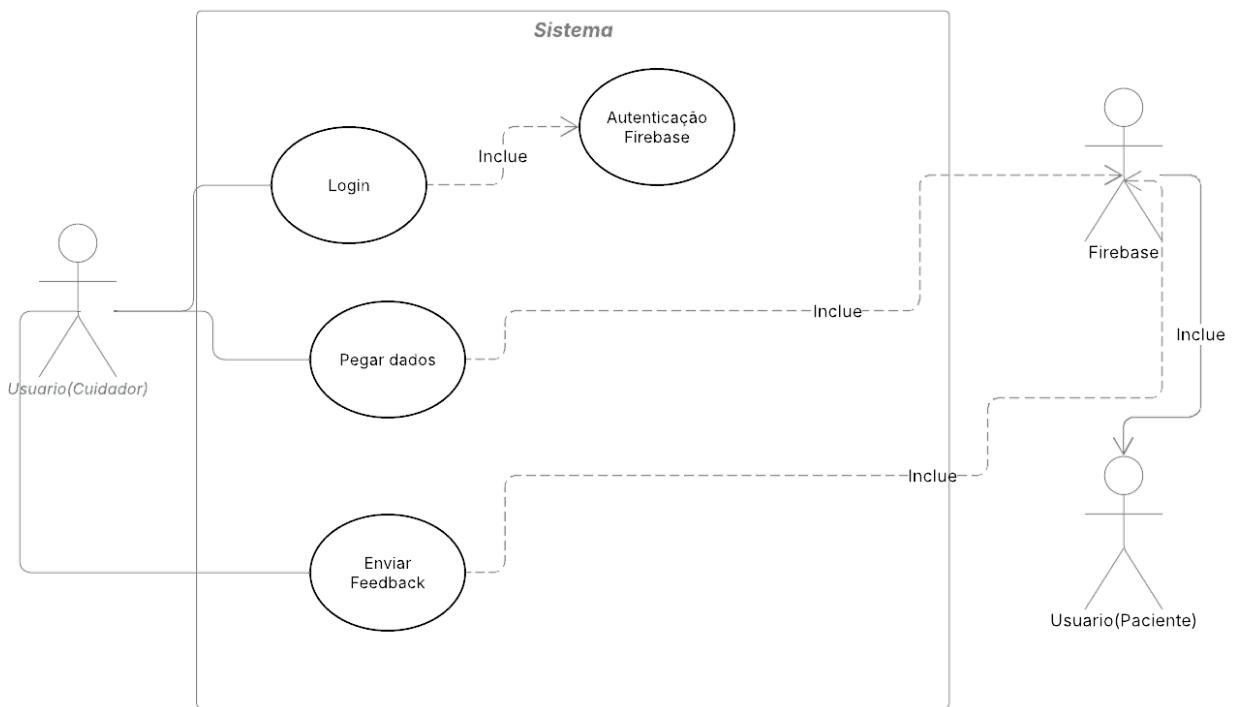
O diagrama de caso de uso do Cuidador, ilustrado na Figura 16, concentra-se nas funcionalidades essenciais de acompanhamento remoto e comunicação direta com o paciente, com interações centralizadas e projetadas para máxima eficiência. A primeira interação do Cuidador é realizar o *Login* no Sistema, um processo seguro e simplificado que, assim como o do paciente, depende do serviço de Autenticação do *Firebase*. Essa etapa é crucial para validar as credenciais e garantir que apenas usuários autorizados tenham acesso seguro às informações sensíveis da plataforma.

Uma vez autenticado, o caso de uso principal é o de Pegar Dados do Paciente. Esta funcionalidade é o coração do monitoramento remoto, permitindo que o cuidador acesse um painel de controle centralizado e visualize os dados de saúde de todos os usuários que supervis-

ona. É importante ressaltar que essa ação depende diretamente da leitura das informações que o paciente, por meio de seu próprio dispositivo, sincronizou com o banco de dados *Firebase*, estabelecendo assim uma ponte de dados assíncrona e não intrusiva entre os dois atores.

Além do monitoramento passivo dos dados, o cuidador pode interagirativamente com o paciente através da funcionalidade de Enviar *Feedback*. Este caso de uso representa um canal de comunicação direto e fundamental para o cuidado humanizado, no qual o profissional pode enviar mensagens de incentivo, orientações ou recomendações personalizadas com base nos dados observados. Todo o *feedback* é devidamente registrado no *Firebase* e notificado ao paciente em seu próprio aplicativo, fechando o ciclo de cuidado remoto e fortalecendo a relação entre o cuidador e a pessoa monitorada.

Figura 16 – Diagrama de casos de uso(Cuidador)



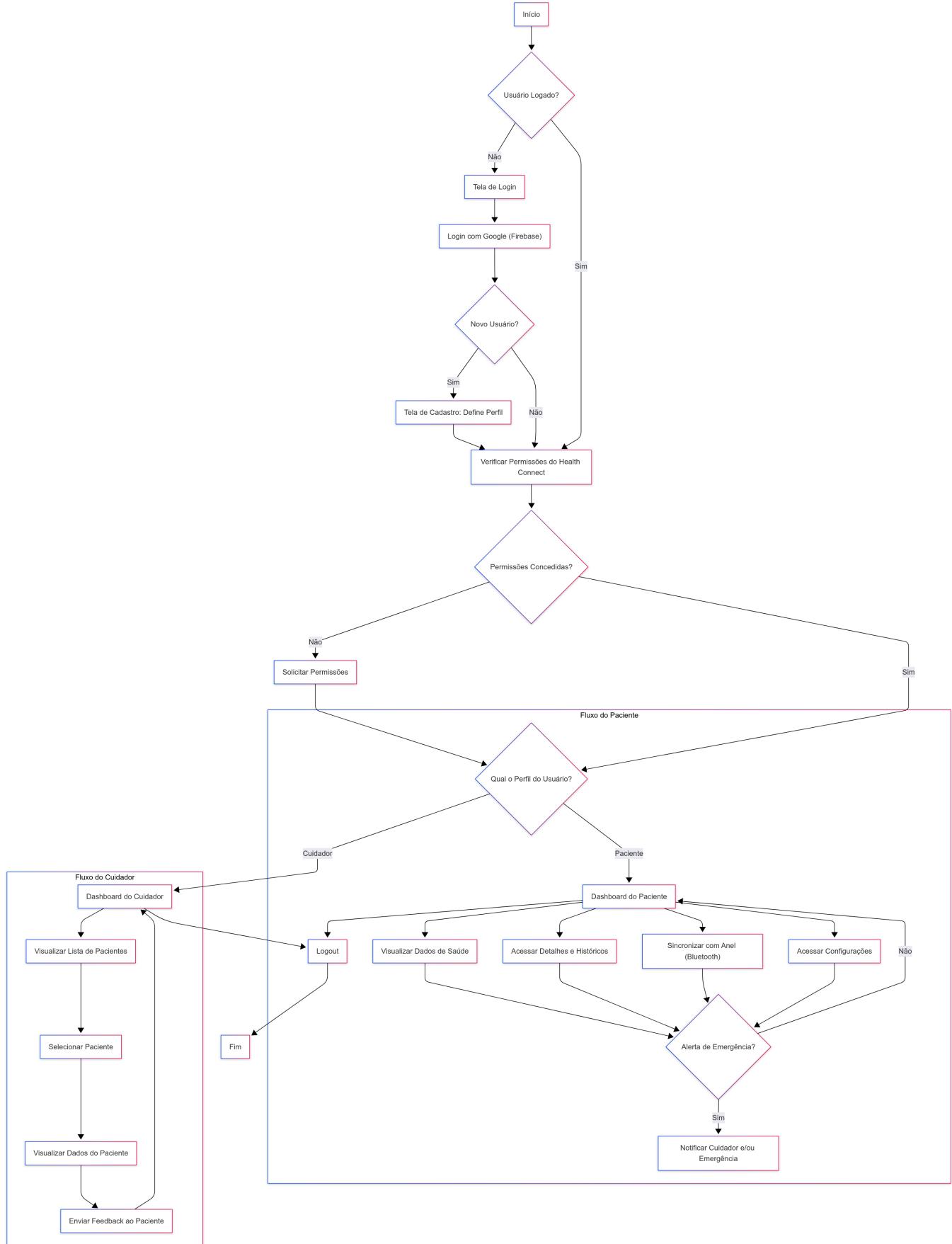
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4.3 Diagrama de Atividade Principal do Aplicativo

Enquanto os diagramas de caso de uso ilustram as funcionalidades disponíveis para cada ator, o diagrama de atividade detalha a sequência e o fluxo de controle entre essas ações. A Figura 17 demonstra a jornada do usuário dentro do aplicativo "RingCare", desde o login inicial até a navegação para os painéis específicos de paciente e cuidador.

O fluxo, conforme detalhado na Figura 17, inicia-se com a verificação de autenticação. Caso o usuário não esteja logado, ele é direcionado para a tela de login via Google e, se for seu primeiro acesso, para a tela de cadastro de perfil. Uma vez autenticado e com as permissões de saúde concedidas, o sistema bifurca o fluxo com base no papel do usuário "Paciente" ou "Cuidador" garantindo que cada um seja direcionado à sua respectiva interface de monitoramento e interação, conforme modelado previamente.

Figura 17 – Diagrama de Atividade do Fluxo Principal do Aplicativo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este Capítulo apresenta as interfaces do protótipo funcional do aplicativo *Ring Care*, que materializa a solução de monitoramento de saúde proposta. O design e a funcionalidade das telas foram concebidos para atender às necessidades de dois perfis de usuários distintos e complementares: o Usuário Paciente, que utiliza o aplicativo para o automonitoramento diário, e o Usuário Cuidador, que realiza o acompanhamento remoto. A seguir, serão detalhados os principais fluxos de interação e as telas desenvolvidas para cada um desses perfis, ilustrando como a arquitetura e os requisitos funcionais foram traduzidos em uma experiência de usuário coesa, com foco na clareza da apresentação dos dados e na facilidade de uso.

sectionResultado da estudo sobre wearble

Um desafio primário para a viabilidade do projeto *RingCare* era identificar um dispositivo vestível que aliasse baixo custo à capacidade de extração de dados brutos de seus sensores — um requisito não trivial, visto que muitos fabricantes restringem esse tipo de acesso para proteger seus ecossistemas. Portanto, um dos primeiros resultados práticos do projeto foi a condução de um estudo de mercado para encontrar uma solução viável.

As descobertas deste estudo estão consolidadas no **Apêndice A**. A análise comparativa, apresentada na **Figura 26**, demonstra que uma parcela significativa dos dispositivos mais populares no mercado não oferece o acesso programático necessário aos dados brutos de movimento, tornando-os inadequados para o desenvolvimento de algoritmos personalizados de saúde.

O resultado conclusivo deste processo de seleção e validação foi a escolha do anel inteligente **Colmi R06**. Este dispositivo se destacou por ser uma das poucas opções que garantem o acesso direto aos dados do acelerômetro via comandos Bluetooth LE, atendendo plenamente aos requisitos técnicos e orçamentários do projeto. As especificações detalhadas do hardware selecionado encontram-se na **Figura 27** do apêndice.

6.1 Interfaces do Aplicativo

A Sessão apresenta os resultados obtidos a partir do desenvolvimento do protótipo do aplicativo móvel integrado ao anel inteligente, desenvolvido com o objetivo de monitorar a saúde de idosos durante todo o período. Conforme a metodologia delineada, a avaliação foi conduzida em duas frentes principais: validação técnica e funcional em ambiente controlado,

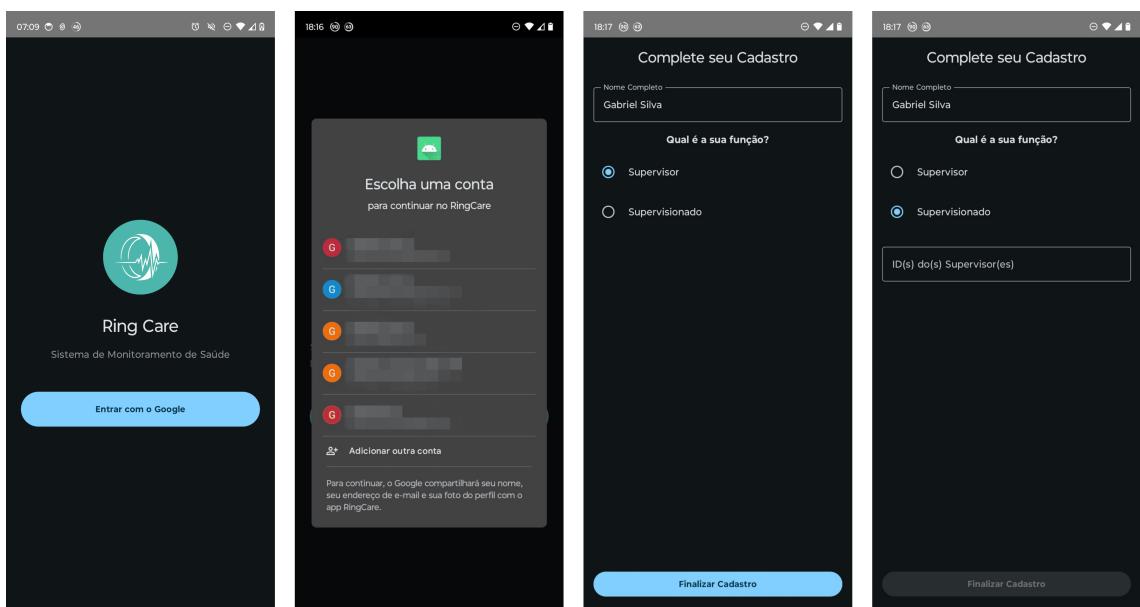
com rastreabilidade de movimentos e análise de dados de *vestíveis*.

Os resultados são consolidados a seguir, discutindo-se sua relevância e aplicabilidade frente aos objetivos propostos e aos trabalhos relacionados. A seguir são apresentadas as principais telas da aplicação desenvolvida, separadas por funcionalidades voltadas tanto ao usuário monitorado quanto ao cuidador.

A Figura 18 ilustra o processo de primeiro login e cadastro no aplicativo "Ring Care". O fluxo começa com a tela inicial, que apresenta o logo e um botão para "Entrar com o Google", simplificando o acesso. Ao escolher essa opção, a segunda tela mostra a interface padrão do Google para a seleção de contas, onde o usuário pode escolher um perfil existente ou adicionar uma nova conta.

Após a autenticação, o usuário é direcionado para a tela "Complete seu Cadastro". Com o nome já preenchido, o passo crucial é definir a função no aplicativo, escolhendo entre "Supervisor"(Cuidador) ou "Supervisionado"(Paciente). A quarta tela demonstra que, ao selecionar "Supervisionado", um novo campo é exibido para inserir o "ID do(s) Supervisor(es)", indicando a necessidade de vincular a conta do paciente à de um cuidador para finalizar o cadastro.

Figura 18 – Telas primeiro login.



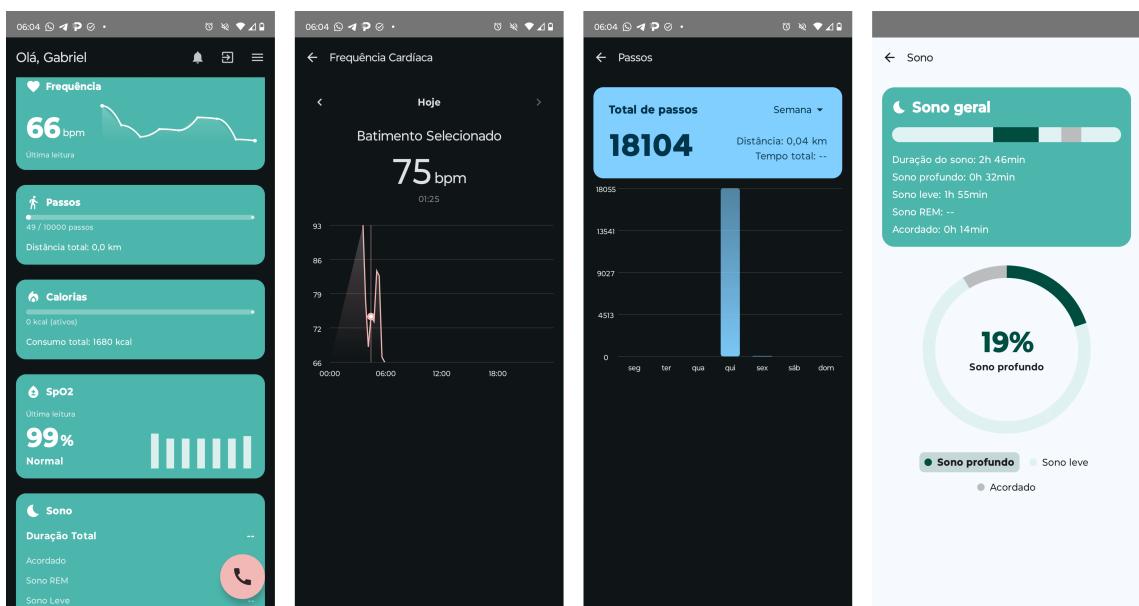
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1.1 Telas do Usuário Paciente

A Figura 19 demonstra a navegação no aplicativo "Ring Care". Em seguida, o usuário acessa a tela de dashboard com os botões de lembrete e menu. Neste painel, o card de Passos, Frequência Cardíaca e Sono são interativos e clicáveis, permitindo o acesso a uma tela com mais detalhes sobre a atividade diária. Os demais cards, como SpO2(Oxigenação do Sangue) e Calorias, funcionam como visores para uma consulta rápida dos dados.

Para uma análise mais aprofundada dessas outras métricas, o aplicativo oferece telas dedicadas. A de Frequência Cardíaca, por exemplo, exibe um gráfico detalhado dos batimentos ao longo do dia e com botões para ver dias anteriores. De forma semelhante, a tela de passos representa um gráfico em barras que detalha a quantidade de passos de acordo com os últimos dias da semana, a tela de Sono apresenta um detalhamento completo dos estágios do repouso (profundo, leve, etc.) com resumos e gráficos que ajudam a analisar a qualidade do período de descanso.

Figura 19 – Telas usuário(Paciente).



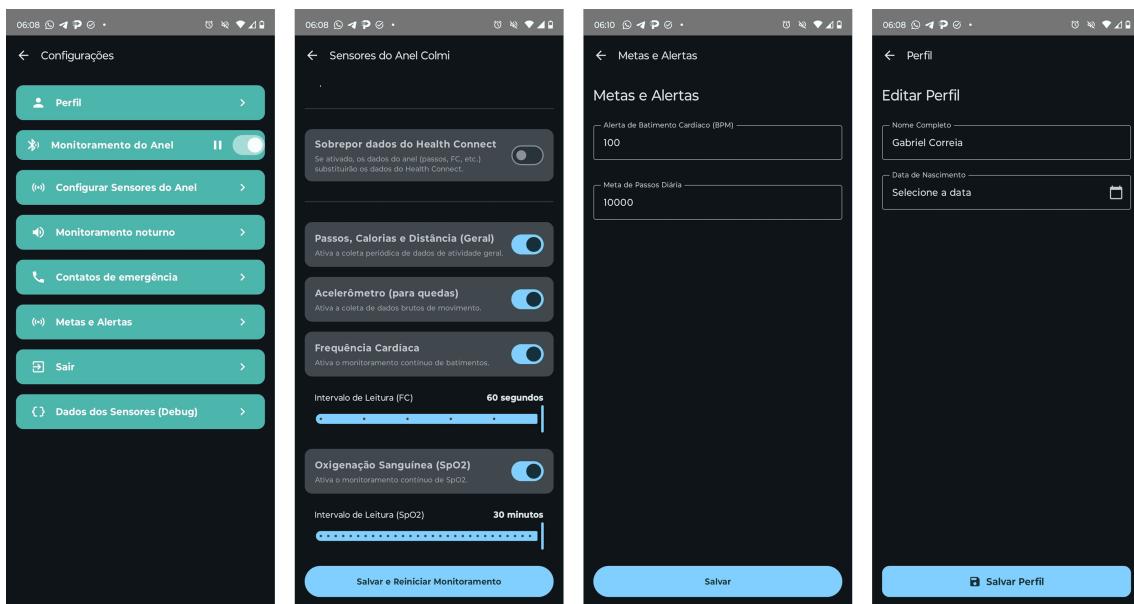
Fonte: Elaborado pelo autor

Acessada através do ícone de três barras (menu hambúrguer) na tela de dashboard, a Figura 20 revela a área de "Configurações" do aplicativo, que serve como um painel central para a personalização completa da experiência do usuário. Esta tela principal de configurações apresenta os seguintes submenus: Perfil, Monitoramento do Anel, Configurar Sensores do Anel,

Monitoramento noturno, Contatos de emergência, Metas e Alertas, Sair e uma opção técnica de Dados dos Sensores (Debug).

A partir desse menu, o usuário pode navegar para telas mais específicas. A tela "Sensores do Anel" permite um controle granular, onde é possível ativar ou desativar sensores individualmente e ajustar a frequência de leitura. Já a tela "Metas e Alertas" é focada no engajamento, permitindo ao usuário definir uma meta de passos diários e um limite de batimento cardíaco para receber notificações. Por fim, a tela "Editar Perfil" oferece a funcionalidade básica de atualizar informações pessoais, como nome e data de nascimento.

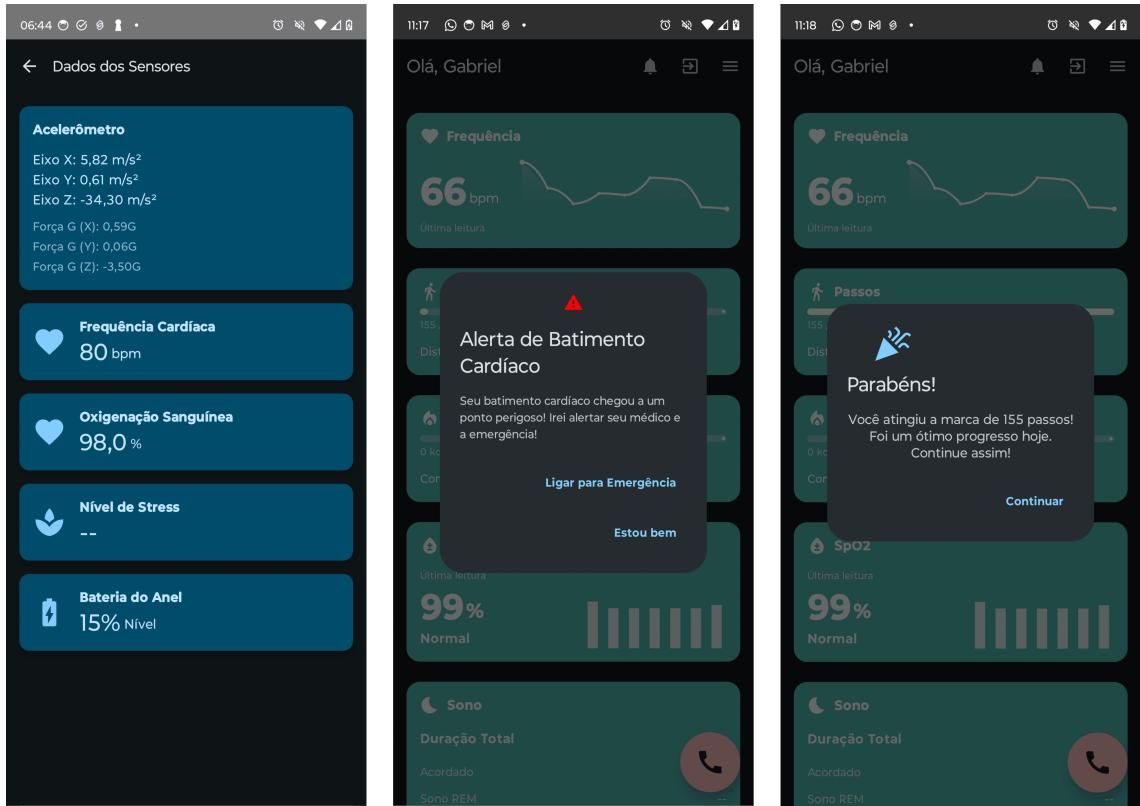
Figura 20 – Telas usuário(Paciente).



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 15 ilustra telas importantes relacionadas ao monitoramento e às notificações do aplicativo. A primeira tela, "Dados dos Sensores", exibe em tempo real as informações brutas coletadas pelo anel, incluindo dados detalhados do acelerômetro (Eixos X, Y, Z e Força G), a frequência cardíaca instantânea (80 bpm), a oxigenação sanguínea (98,0%), o nível de estresse e a carga da bateria do anel (15%). As duas últimas telas focam nas notificações interativas. A terceira tela apresenta um "Alerta de Batimento Cardíaco" crítico, que é acionado automaticamente quando a frequência cardíaca atinge um ponto perigoso, oferecendo as opções de "Ligar para Emergência" ou confirmar "Estou bem". Por fim, a última tela mostra uma notificação de incentivo, parabenizando o usuário por atingir uma marca em sua meta de passos e encorajando-o a continuar.

Figura 21 – Telas usuário(Paciente).

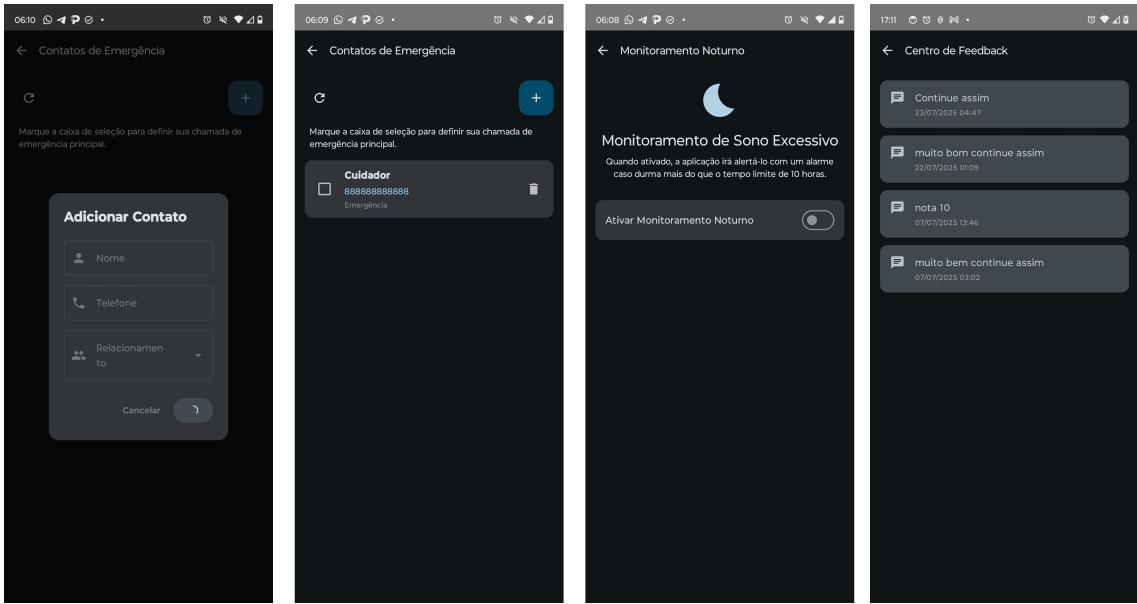


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 22 mostra as telas de gerenciamento de contatos e outras funcionalidades de suporte do aplicativo. A primeira tela, "Contatos de Emergência", apresenta o formulário para "Adicionar Contato", onde o usuário pode inserir o nome, telefone e o tipo de relacionamento (como "Tio"). A segunda tela exibe a lista de contatos já salvos, permitindo que o usuário marque uma caixa de seleção para definir qual deles será o contato principal a ser acionado em uma emergência.

As telas seguintes apresentam funcionalidades complementares. A terceira tela, "Monitoramento Noturno", possui uma chave para ativar ou desativar o monitoramento de sono excessivo. Quando ativada, a função alerta o usuário com um alarme caso o período de sono ultrapasse 10 horas, o que poderia indicar uma anormalidade. Por fim, a quarta tela, o "Centro de Feedback", funciona como um histórico de mensagens ou observações, provavelmente enviadas por um cuidador, com registros como "Continue assim" e "muito bom continue assim", cada um com sua respectiva data e hora.

Figura 22 – Telas usuário(Paciente).



Fonte: Elaborado pelo autor

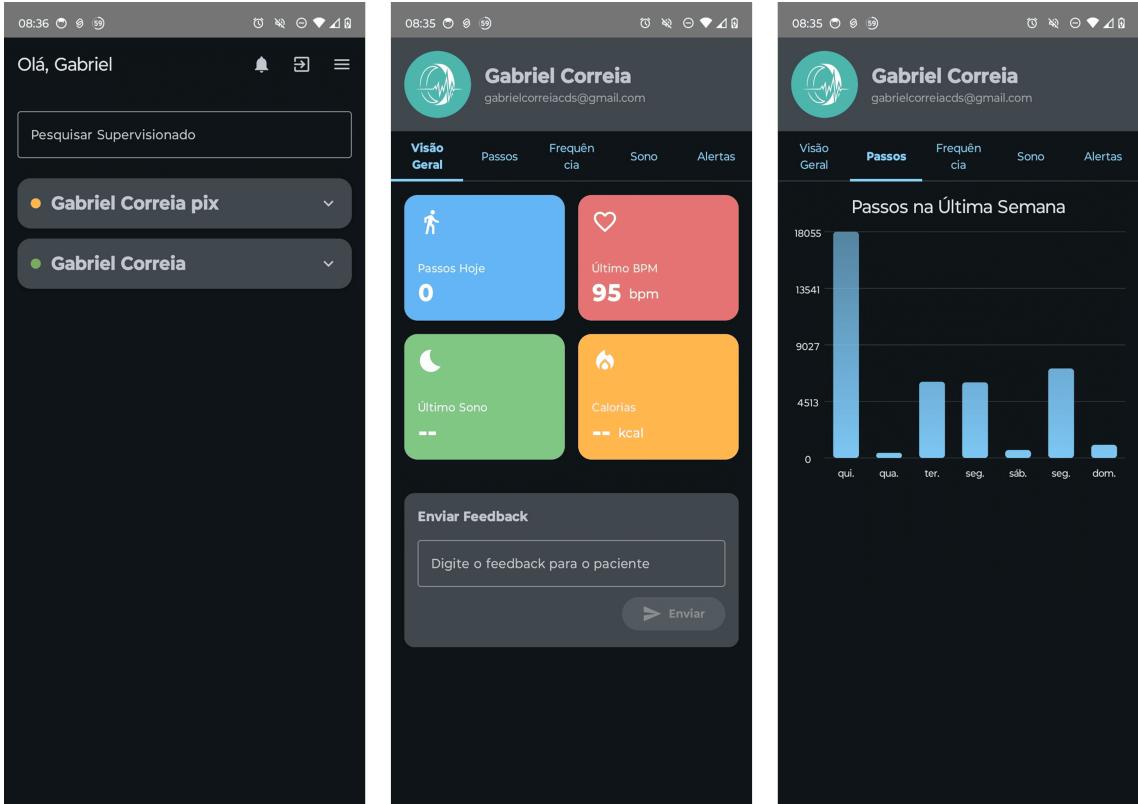
6.1.2 Telas do Usuário Cuidador

A Figura 23 ilustra a interface destinada ao Cuidador, focada no monitoramento de pacientes. A primeira tela à esquerda é o painel principal do cuidador, saudando-o ("Olá, Gabriel") e apresentando uma lista de pacientes supervisionados (neste caso, "Gabriel Correia pix" e "Gabriel Correia"), com uma barra de busca para facilitar a localização. Ao selecionar um paciente, o cuidador acessa a tela de perfil, exibida ao centro. Essa tela funciona como um dashboard do paciente, mostrando um resumo dos dados vitais em cards: "Passos Hoje"(0), "Último BPM"(95 bpm), "Último Sono" e "Calorias". Logo abaixo, há uma funcionalidade essencial para a comunicação: uma caixa de "Enviar Feedback", onde o cuidador pode digitar uma mensagem e enviá-la diretamente ao paciente.

Para uma análise mais aprofundada, o cuidador pode navegar por abas como "Visão Geral", "Passos", "Frequência", "Sono" e "Alertas". A terceira tela da imagem é um exemplo dessa análise detalhada, mostrando a aba "Passos". Nela, é apresentado um gráfico de barras com o histórico de passos do paciente na última semana, permitindo ao cuidador avaliar a consistência da atividade física e identificar tendências no comportamento do supervisionado.

A Figura 24 ilustra a interface destinada ao Cuidador, focada no monitoramento de pacientes. A primeira tela à esquerda é o painel principal do cuidador, saudando-o e apresentando uma lista de pacientes supervisionados, com uma barra de busca para facilitar a localização.

Figura 23 – Telas usuário(Cuidador).

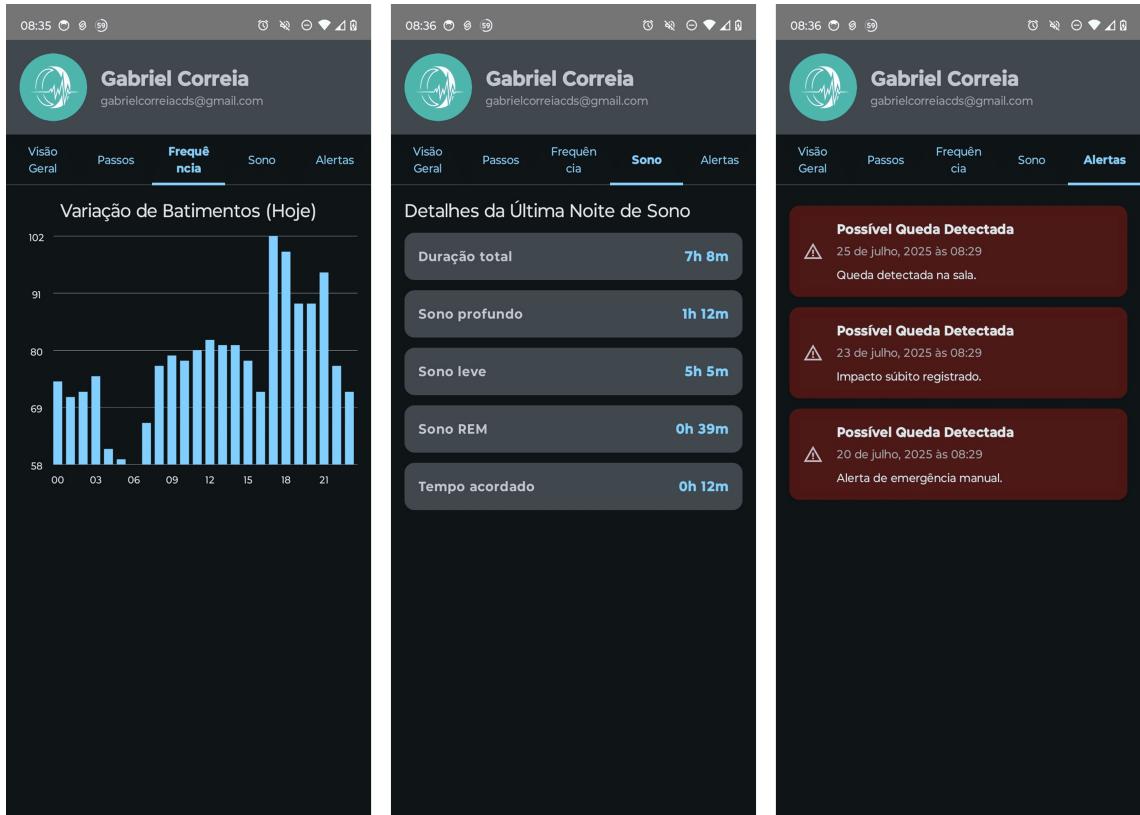


Fonte: Elaborado pelo autor

Ao selecionar um paciente, o cuidador acessa a tela de perfil, exibida ao centro. Essa tela funciona como um dashboard do paciente, mostrando um resumo dos dados vitais em cards: "Passos Hoje", "Último BPM", "Último Sono" e "Calorias". Logo abaixo, há uma funcionalidade essencial para a comunicação: uma caixa de "Enviar Feedback", onde o cuidador pode digitar uma mensagem e enviá-la diretamente ao paciente.

Para uma análise mais aprofundada, o cuidador pode navegar por abas como "Visão Geral", "Passos", "Frequência", "Sono" e "Alertas". A terceira tela da imagem é um exemplo dessa análise detalhada, mostrando a aba "Passos". Nela, é apresentado um gráfico de barras com o histórico de passos do paciente na última semana, permitindo ao cuidador avaliar a consistência da atividade física e identificar tendências no comportamento do supervisionado.

Figura 24 – Telas usuário(Cuidador).



Fonte: Elaborado pelo autor

6.2 Estrutura de Dados no Firebase

A Figura 25 apresenta a estrutura de dados implementada no *Firebase Firestore*, o banco de dados *NoSQL* utilizado como *backend* principal da aplicação. A modelagem foi projetada para ser escalável e para organizar de forma eficiente as informações dos usuários e seus respectivos dados de saúde coletados.

A base da estrutura é a coleção principal ‘users’, onde cada documento corresponde a um usuário único, identificado pelo seu *User ID* (*Identificador Único Universal (UUID)*) fornecido pelo *Firebase Authentication*. Dentro de cada documento de usuário, são armazenados os dados cadastrais essenciais, como ‘name’ (nome), ‘email’, e ‘role’ (função), que define se o usuário é “supervised” (paciente) ou “supervisor” (cuidador). O campo ‘supervisorIds’ é um *array* que armazena os UIDs dos cuidadores associados, estabelecendo a relação de monitoramento entre os perfis.

Para armazenar os dados de saúde, foi adotada uma abordagem de sub-coleções aninhadas dentro de cada documento de usuário. Como pode ser visto na figura, existem sub-

coleções específicas para cada tipo de métrica, como `heart_rate`, ‘`steps`‘, ‘`calories`‘, ‘`sleep`‘ e ‘`oxygen_saturation`‘. Esta modelagem garante que os dados de saúde de um usuário fiquem diretamente ligados ao seu perfil, o que facilita as consultas e garante a organização e a escalabilidade dos dados ao longo do tempo. Adicionalmente, há uma coleção separada de ‘`feedback`‘ no nível raiz, utilizada para armazenar as mensagens trocadas entre cuidadores e pacientes, mantendo a comunicação desacoplada dos dados de perfil.

Figura 25 – Tela de estrutura dos dados da aplicação no Firebase Firestore.

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.1 Detalhamento da Estrutura de Dados de Saúde

Cada tipo de dado de saúde é salvo em sua respectiva sub-coleção seguindo um padrão de nomenclatura e estruturação específico para otimizar as consultas e garantir a integridade dos dados. A seguir, detalha-se como cada métrica é armazenada:

6.2.1.1 Frequência Cardíaca (`heart_rate`):

Cada medição de batimento cardíaco é armazenada como um documento individual dentro da sub-coleção `heart_rate`. Para garantir a unicidade e a ordenação cronológica, o identificador (ID) de cada documento é o próprio `timestamp` da medição, representado em milissegundos. Internamente, o documento contém os campos: `timestamp` (o momento da leitura), `bpm` (o valor dos batimentos por minuto) e `userId` (o identificador do usuário associado).

6.2.1.2 *Passos (steps):*

Os dados de passos são agregados diariamente para evitar a redundância de informações. Cada documento na sub-coleção `steps` representa um único dia de atividade, e seu ID é a data no formato padrão "AAAA-MM-DD". Essa abordagem simplifica a consulta de dados para um dia específico. Cada documento armazena dois campos principais: `contagem` (o número total de passos acumulados naquele dia) e `data` (a data correspondente).

6.2.1.3 *Sono (sleep):*

Cada sessão de sono é registrada como um documento único na sub-coleção `sleep`. O ID do documento é o `healthConnectId`, um identificador exclusivo fornecido pela API do *Health Connect*, o que previne a duplicação de sessões. O documento armazena um conjunto rico de informações, incluindo `startTime` e `endTime` (data e hora de início e fim da sessão), `durationMinutes` (duração total em minutos), e as durações detalhadas para cada estágio do sono, como `deepSleepDurationMinutes` (sono profundo) e `remSleepDurationMinutes` (sono REM).

6.2.1.4 *Calorias (calories):*

De forma similar aos dados de sono, cada registro de queima de calorias é um documento cujo ID é o seu `healthConnectId`. A estrutura armazena o intervalo de tempo da medição com `startTime` e `endTime`, o valor em quilocalorias no campo `kilocalorias`, e um campo `tipo` que especifica se as calorias são do tipo "TOTAL" ou "ATIVA", permitindo uma análise mais granular do gasto energético.

6.2.1.5 *Saturação de Oxigênio (oxygen_saturation):*

Assim como a frequência cardíaca, cada leitura de SpO é salva como um documento individual. O ID do documento é o `timestamp` da medição para garantir a ordem e a unicidade. Cada documento contém o valor percentual da saturação de oxigênio no campo `spo2`, além do próprio `timestamp` da coleta.

6.2.2 Estrutura de Dados para a API Externa

Além do armazenamento no *Firebase*, a aplicação consolida periodicamente os dados para enviá-los a uma API externa de processamento. Para isso, é montado um objeto *JSON* (*payload*) que agrupa todas as informações de saúde e dos sensores em uma única requisição *POST*, projetado para fornecer um panorama detalhado da saúde do usuário.

Sua estrutura principal (*DetailedHealthAndSensorPayload*) contém um *userId*, um *timestamp* e *arrays* com as listas de leituras, incluindo frequência cardíaca (*heartRateRecords*), passos (*hourlySteps*), sessões de sono (*sleepSessions*), calorias (*calorieRecords*) e saturação de oxigênio (*oxygenSaturationRecords*). Adicionalmente, o *payload* transporta dados brutos dos sensores do anel e do *smartphone* (acelerômetro, SpO2 e Fotopletismografia - PPG), essenciais para análises mais aprofundadas e anônimas no *backend*.^{1,2}

Por fim, o trabalho foi impactado negativamente devido a fatores externos, como extravios consecutivos do objeto de pesquisa na alfandega e demora de entrega, fatores esses que não estavam sob controle do autor.

¹ <https://github.com/Gabriel-Correia-Silva/Projeto-TCC-2>

² <https://github.com/Gabriel-Correia-Silva/API-Detect-Fall>

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este Capítulo final consolida a jornada de desenvolvimento e os resultados alcançados com o projeto *"RingCare"*. A primeira seção apresenta as conclusões do trabalho, recapitulando a motivação, a metodologia empregada, a arquitetura do sistema e os resultados obtidos, culminando em uma síntese das contribuições e dos aprendizados. Em seguida, são discutidos os trabalhos futuros, onde, a partir das limitações identificadas e do potencial da solução desenvolvida, são propostos caminhos e novas linhas de pesquisa que podem dar continuidade e expandir o escopo deste projeto.

7.1 Conclusão

O presente trabalho dedicou-se a enfrentar o desafio crescente do monitoramento da saúde da população idosa, um grupo demográfico em franca expansão que enfrenta riscos elevados, especialmente relacionados a eventos fisiológicos adversos e alterações de mobilidade. Para endereçar essa necessidade, foi concebido, desenvolvido e validado o *"RingCare"*, um sistema de saúde digital composto por um aplicativo móvel para Android e sua integração com dispositivos vestíveis de baixo custo, como anéis e pulseiras inteligentes. O objetivo central foi criar uma solução que, utilizando os paradigmas da Internet das Coisas Médicas (IoHT) e da computação ubíqua, oferecesse um monitoramento contínuo, discreto e proativo, visando aumentar a segurança, a autonomia e a qualidade de vida dos usuários.

A fundamentação teórica explorou conceitos essenciais como sistemas sensíveis ao contexto e autoadaptativos, que formaram a base para a arquitetura do sistema. A metodologia seguiu um processo estruturado, partindo de uma revisão de literatura, passando pelo estudo de dispositivos vestíveis, até o projeto e desenvolvimento da aplicação. A solução foi materializada em uma arquitetura cliente-servidor, tendo o aplicativo Android como núcleo, desenvolvido em Kotlin com Jetpack Compose e estruturado internamente sob o padrão *Model-View-ViewModel* (MVVM) para garantir modularidade e manutenibilidade. O Sistema tecnológico incluiu o anel Colmi R06 e a Mi Band 6 para a coleta de dados via BLE, e a plataforma Firebase como *backend-as-a-service* para autenticação e armazenamento de dados em tempo real, complementada por uma API customizada para processamento futuro.

O resultado é um protótipo funcional que atende a dois perfis de usuário interconectados: o "Paciente" e o "Cuidador". Para o paciente, o aplicativo oferece um painel de controle

intuitivo que exibe métricas vitais como frequência cardíaca, SpO2, passos e qualidade do repouso, além de permitir a configuração de metas e contatos de emergência. Para o cuidador, o sistema proporciona uma visão remota e em tempo real da saúde do paciente, com acesso a históricos e um canal direto para envio de feedback. Funcionalidades críticas, como a detecção de eventos de risco e de picos de frequência cardíaca, foram implementadas para gerar alertas automáticos, reduzindo o tempo de resposta em situações de emergência.

Este estudo demonstrou a viabilidade de se construir uma solução de monitoramento de saúde eficaz e acessível, combinando tecnologias de baixo custo com uma arquitetura de software robusta. Contudo, durante o desenvolvimento, foi identificada uma vulnerabilidade na comunicação com o anel inteligente, que utiliza comandos em formato Hexadecimal (HEX) sem criptografia, o que representa um risco à privacidade dos dados. Em suma, o projeto *RingCare* estabelece uma base sólida, demonstrando o imenso potencial das tecnologias vestíveis para transformar o cuidado preventivo e promover um envelhecimento mais seguro e ativo.

Com base nos resultados obtidos e nas limitações identificadas, propõem-se diversas linhas de pesquisa e desenvolvimento para dar continuidade ao projeto. Inicialmente, sugere-se a **Avaliação da Solução Implementada**, com uma análise formal da versão atual do sistema *RingCare* focada na usabilidade, precisão dos dados e impacto percebido, a fim de validar o trabalho e orientar os próximos passos. Outra frente crucial é a **Otimização e Inteligência dos Algoritmos**, investigando a aplicação de arquiteturas de aprendizado profundo como Memória de Longo Curto Prazo (LSTM) e Rede Neural Convolucional (CNN), além de explorar o aprendizado federado para maior privacidade. Propõe-se também o desenvolvimento de uma **Interface de Usuário Personalizada e Adaptativa**, que ajuste dinamicamente elementos visuais e incorpore um assistente de voz proativo. Para a integração sistêmica, um **Módulo de Interoperabilidade Baseado em Padrões Abertos**, utilizando Recursos de Interoperabilidade em Saúde Rápida (FHIR) e seguindo a LGPD, será desenvolvido como código aberto. A robustez da solução será aferida por meio de **Validação Clínica e Estudos Longitudinais** (6 a 12 meses) em ambientes reais. Adicionalmente, a **Fusão de Sensores e Análise Contextual** buscará combinar dados de múltiplas fontes para aumentar a precisão das análises. Futuramente, planeja-se o **Desenvolvimento de Modelos Preditivos de Risco** para antecipar quedas e outros eventos adversos. Por fim, a implementação de **Gamificação para Engajamento e Adesão** utilizará metas e recompensas para incentivar o uso contínuo da plataforma.

Em suma, o projeto demonstrou que é possível combinar tecnologias acessíveis para

criar soluções inovadoras. Com os aprimoramentos propostos, a solução poderá evoluir de um sistema de detecção para uma plataforma completa de prevenção, monitoramento e promoção do envelhecimento ativo e saudável.

REFERÊNCIAS

- ALSAYID, M.; ALSHEIKH, M. A.; KHALIFEH, A.; AL-SARAIREH, F. How low energy is bluetooth low energy? a comprehensive analysis. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, IEEE, v. 3, p. 249–267, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3149732>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- BALAJI, R.; BHAVSAR, K.; BHOWMICK, B.; S., M. B.; CHAKRAVARTY, K.; CHATTERJEE, D.; GHOSE, A.; GUPTA, P.; JAISWAL, D.; KIMBAHUNE, S.; MURALIDHARAN, K.; PAL, A.; SINHA, A.; VENKATACHARI, S. R. A framework for pervasive and ubiquitous geriatric monitoring. In: ZHOU, J.; SALVENDY, G. (Ed.). **Human Aspects of IT for the Aged Population. Applications in Health, Assistance, and Entertainment**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 205–230. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-92037-5_17. Acesso em: 21 jul. 2025.
- BAUCAS, M. J.; SPACHOS, P.; GREGORI, S. Internet of things devices and assistive technologies for health care: Applications, challenges, and opportunities. **IEEE Signal Processing Magazine**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 38, n. 4, p. 65–77, jul 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MSP.2021.3075929>. Acesso em: 04 jul. 2025.
- CARVALHO, T. V.; GOMES, M. L. M.; ANDRADE, R. M. de C.; JUNIOR, E. C. Prospecção tecnológica de soluções de internet das coisas na saúde. **Cadernos de Prospecção**, v. 17, n. 5, p. 1493–1508, out 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v17i5.58619>. Acesso em: 21 jul. 2025.
- COSTA, C. A. da; PASLUOSTA, C. F.; ESKOFIER, B.; SILVA, D. B. da; RIGHI, R. da R. Internet of health things: Toward intelligent vital signs monitoring in hospital wards. **Artificial Intelligence in Medicine**, Elsevier, v. 89, p. 61–69, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.05.005>. Acesso em: 06 jul. 2025.
- COSTA JUNIOR, E. **MOTION**: Processo de desenvolvimento de aplicações de internet of health things autoadaptativas baseadas em padrões de movimento. 142 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76019>. Acesso em: 01 jul. 2025.
- COSTA JUNIOR, E.; ANDRADE, R. M. de C.; ROCHA, L. S. Development process for self-adaptive applications of the internet of health things based on movement patterns. In: **IEEE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTHCARE INFORMATICS (ICHI). Proceedings[...]**. Victoria, BC, Canada: IEEE, 2021. p. 437–438. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICHI52183.2021.00073>. Acesso em: 21 jul. 2025.
- COSTA JUNIOR, E.; PINHEIRO, F. V. da S.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, I. de S.; ANDRADE, R. M. de C. Partner: Development platform for self-adaptive ioht application microservices. In: **WORKSHOPS AT THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED INFORMATICS 2024. Proceedings[...]**. Viña del Mar: CEUR-WS.org, 2024. p. 347–362. Disponível em: https://ceur-ws.org/Vol-3795/icaiw_wseai_4.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.
- FARUQUI, N.; YOUSUF, M. A.; WHAIDUZZAMAN, M.; AZAD, A.; BARROS, A.; MONI, M. A. Lungnet: A hybrid deep-cnn model for lung cancer diagnosis using ct and wearable

sensor-based medical iot data. **Computers in Biology and Medicine**, Elsevier, v. 139, p. 104961, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104961>. Acesso em: 17 jul. 2025.

GHADI, Y.; MOUAZMA, B.; GOCHOO, M.; SULIMAN, A.; TAMARA, S.; JALAL, A.; PARK, J. Improving the ambient intelligence living using deep learning classifier. **Computers, Materials Continua**, v. 73, n. 1, p. 1037–1053, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ahmad-Jalal-9/publication/384661317_Improving_the_Ambient_Intelligence_Living_Using_Deep_Learning_Classifier/links/6701307e553d245f9e51b23e/Improving-the-Ambient-Intelligence-Living-Using-Deep-Learning-Classifier.pdf. Acesso em: 05 jul. 2025.

HAAS, Z. J.; MELO, F. B. L. de. Smart environments and their application to health care. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATIONS WORKSHOPS (PERCOM WORKSHOPS). **Proceedings[...]**. Seattle, WA, USA: IEEE Computer Society, 2011. p. 438–443. Disponível em: <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/percomw/2011/05766868/17D45WrVgbE>. Acesso em: 02 jul. 2025.

KIM, S.; PARK, J. Iatrogenic anxiety in ioht users: A qualitative study. **Journal of Medical Ethics**, BMJ, v. 48, n. 3, p. 167–175, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/medethics-2021-107890>. Acesso em: 17 jul. 2025.

KOULOURAS, G.; KATSOULIS, S.; ZANTALIS, F. Evolution of bluetooth technology: Ble in the iot ecosystem. **Sensors**, MDPI, v. 25, n. 4, p. 996, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s25040996>. Acesso em: 14 jul. 2025.

LEMOS, R. D.; GIESE, H.; MÜLLER, H. A.; SHAW, M.; ANDERSSON, J.; LITOIU, M.; SCHMERL, B.; TAMURA, G.; VILLEGRAS, N. M.; VOGEL, T.; WEYNNS, D. Software engineering for self-adaptive systems: A second research roadmap. In: LEMOS, R. de; GIESE, H.; MÜLLER, H. A.; SHAW, M. (Ed.). **Software Engineering for Self-Adaptive Systems II**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. p. 1–32. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-35813-5_1. Acesso em: 17 jul. 2025.

LINHARES Ítalo; ANDRADE, R.; JUNIOR, E. C.; OLIVEIRA, P. A.; OLIVEIRA, B.; AGUILAR, P. Lessons learned from the development of mobile applications for fall detection. In: FIFTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL HEALTH CHALLENGES (GLOBAL HEALTH 2020). **Proceedings[...]**. Porto: IARIA, 2020. p. 18–25. Disponível em: https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/112441479/global_health_2020_2_20_70033-libre.pdf?1710507643=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLessons_Learned_from_the_Development_of.pdf&Expires=1754282051&Signature=Th1FwCBn-xkiEX8gcGmEM3tL90sysdHU5~BC9oZXU~J79s~L7HtQVW5vfmqU5ybbspWUxzbae7-PGy~&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 04 jul. 2025.

LODRO, M.; GRADONI, G.; GROS, J.-B.; GREEDY, S.; LEROSEY, G. Reconfigurable intelligent surface-assisted bluetooth low energy link in metal enclosure. **Frontiers in Communications and Networks**, Frontiers Media S.A., v. 2, p. 733637, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/frcmn.2021.733637>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MAGNO, N. M.; ROCHA, L. C. N. da; ARAÚJO, A. P. M. de; SILVA, M. C. R. da; PINTO, D. da S.; CARDOSO, B. A.; DIAS, G. A. da S. Relação da função vesical e marcha em indivíduos com

vírus linfotrópico de células t humana tipo 1. **Saúde e Pesquisa**, v. 11, n. 2, p. 213–221, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/6504>. Acesso em: 09 jul. 2025.

MANESHTI, H.; DADASHI, M.; ROSTAMI, K. **IoT-Enabled Low-Cost Fog Computing System with Online Machine Learning for Accurate and Low-Latency Heart Monitoring in Rural Healthcare Settings**. 2023. Preprint, arXiv:2302.14131. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2302.14131>. Acesso em: 10 jul. 2025.

MATHER, E.; JOHNSON, R. Remote patient monitoring in canada: A case study. **Canadian Journal of Public Health**, Springer, v. 113, n. 2, p. 45–52, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17269/s41997-022-00645-5>. Acesso em: 17 jul. 2025.

MENDES, F.; PEREIRA, J.; GEMITO, L.; MIRANDA, F.; TORRES, G. Distúrbios do sono e quedas em idosos. In: RIBEIRO, F.; MESQUITA, S.; RIBEIRO, A. I.; QUEIRÓS, A.; PAÚL, R. (Ed.). **Atas do 11º Congresso Nacional de Psicologia da Saúde**. Editora CRV, 2022. p. 51–57. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/32567>. Acesso em: 06 jul. 2025.

MENDES, N. K. N.; PINHEIRO, F. V. S.; OLIVEIRA, V. T.; JUNIOR, F. L. C.; GOMES, R. L.; ANDRADE, R. M. C. **FallReportAPI**: Integration of digital health systems for fall detection in hospital systems. 16 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78327>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MREJEN, M.; NUNES, L.; GIACOMIN, K. Envelhecimento populacional e saúde dos idosos: O brasil está preparado? São Paulo, 2023. Nota Técnica n. 29. Disponível em: <https://ieps.org.br/wp-content/uploads/2023/05/NT-29-Envelhecimento-populacional-e-saude-dos-idosos.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

Noce Kirkwood, R.; de Souza Moreira, B.; MINGOTI, S. A.; FARIA, B. F.; SAMPAIO, R. F.; Alves Resende, R. The slowing down phenomenon: What is the age of major gait velocity decline? **Maturitas**, v. 115, p. 31–36, 2018. ISSN 0378-5122. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378512218303086>. Acesso em: 14 jul. 2025.

PAWELKE, L.; CÉSAR, C.; STEFFAN, A. A survey on bluetooth low energy security and privacy. **Computer Networks**, Elsevier, v. 195, p. 108165, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108165>. Acesso em: 18 jul. 2025.

ROSA, C. M.; SOUZA, P. A. R. de; SILVA, J. M. de. Inovação em saúde e internet das coisas (iot): um panorama do desenvolvimento científico e tecnológico. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 25, n. 3, p. 164–181, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-5344/3973>. Acesso em: 17 jul. 2025.

ROSS, L. S.; KERO, K. M. F. C.; CORVINGTON, R. A. H.; VARELAS, J.; MCDONALD, K. C. M.; ORNSTEIN, K. A.; COVINSKY, K. E.; RITCHIE, C. S.; SEMERE, W. A. “i know what to look for”: How technology facilitates the work of care partners of older adults with complex care needs. **The Journals of Gerontology: Series B**, Oxford University Press, v. 78, n. 1, p. 151–161, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/geronb/gbac123>. Acesso em: 17 jul. 2025.

- SAIFUZZAMAN, M.; ANANNA, T. N. Toward smart healthcare: Challenges and opportunities in iot and ml. In: TAUSIF, M.; TANWAR, S.; WIERZCHOŃ, S. T.; SINGH, P. K. (Ed.). **IoT and ML for Information Management: A Smart Healthcare Perspective**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 325–355. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-97-5624-7_10. Acesso em: 21 jul. 2025.
- SALEHIE, M.; TAHVILDARI, L. Self-adaptive software: Landscape and research challenges. **ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)**, ACM, v. 4, n. 2, p. 1–42, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1516533.1516538>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- SANTOS, B. P.; SILVA, F. A.; MORAES, L. F. M. de; BRAUN, T. Internet das coisas: da teoria à prática. In: MINICURSOS DO XXXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC). **Anais[...]**. Salvador, BA: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/sbrc.2016.15316>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- SILVA, A.; COSTA, P. Barriers to ioh adoption among elderly populations. **Journal of Aging and Technology**, Taylor Francis, v. 12, n. 1, p. 78–90, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17449208.2023.1234567>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- SILVA, P. Davis's technology acceptance model (tam) (1989). In: KHOSROW-POUR, M. (Ed.). **Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition**. Hershey, PA: IGI Global, 2015. p. 205–219. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-8156-9.ch013>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- SPACHOS, P.; PLATANIOTIS, K. N. Ble beacons in the smart city: Applications, challenges, and research opportunities. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 28, n. 3, p. 14–20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MWC.001.2000431>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- SUNDMAEKER, H.; GUILLEMIN, P.; FRIESS, P.; WOELFFLÉ, S. (Ed.). **Vision and Challenges for Realising the Internet of Things**. Luxembourg: European Commission, 2010. Disponível em: https://www.links-mart.in-jet.dk/hydra_papers/Vision_and_Challenges_for_Realising_the_Internet_of_Things.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.
- SYED, L.; JABEEN, S.; S., M.; ALSAEDI, A. Smart healthcare framework for ambient assisted living using iomt and big data analytics techniques. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier, v. 101, p. 136–151, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.06.004>. Acesso em: 21 jul. 2025.
- TARAMASCO, C.; RODENAS, T.; MARTINEZ, F.; FUENTES, P.; MUÑOZ, R.; OLIVARES, R.; ALBUQUERQUE, V. H. C. D.; DEMONGEOT, J. A novel low-cost sensor prototype for nocturia monitoring in older people. **IEEE Access**, IEEE, v. 6, p. 52500–52509, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868607>. Acesso em: 04 jul. 2025.
- TARAMASCO, C.; RODENAS, T.; MARTINEZ, F.; FUENTES, P.; MUÑOZ, R.; OLIVARES, R.; ALBUQUERQUE, V. H. C. D.; DEMONGEOT, J. A novel monitoring system for fall detection in older people. **IEEE Access**, IEEE, v. 6, p. 43563–43574, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2861331>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- TEDESCHI, O.; SCATENI, R.; VERDONE, R. Privacy-preserving and sustainable contact tracing using batteryless bluetooth low-energy beacons. **Sensors**, MDPI, v. 21, n. 5, p. 1656, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21051656>. Acesso em: 18 jul. 2025.

TUNC, M. A.; GURES, E.; SHAYEA, I. **A Survey on IoT Smart Healthcare**: Emerging technologies, applications, challenges, and future trends. 2021. Preprint, arXiv:2109.02042. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2109.02042>. Acesso em: 11 jul. 2025.

VERZANI, R. H.; SERAPIÃO, A. B. de S. Contribuições tecnológicas para saúde: Olhar sobre a atividade física. **Ciência Saúde Coletiva**, ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva, v. 25, n. 8, p. 3227–3238, ago 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232020258.19742018>. Acesso em: 14 jul. 2025.

WANG, S.; QIAN, C.; LI, X. Modeling power consumption in ble mesh networks for iot. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 8, n. 3, p. 1895–1905, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3009342>. Acesso em: 18 jul. 2025.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review**, ACM New York, NY, USA, v. 3, n. 3, p. 3–11, 1999.

World Health Organization. **Global Report on Ageing and Health**. Geneva: World Health Organization, 2015. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565042>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ZEADALLY, S.; SIDDIQUI, F.; BAIG, Z.; IBRAHIM, A. Smart healthcare: Challenges and potential solutions using internet of things (iot) and big data analytics. **PSU Research Review**, v. 4, n. 2, p. 149–168, 10 2019. ISSN 2399-1747. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/PRR-08-2019-0027>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ZHENG, W.; LIU, X. Data privacy in ioht: Challenges and solutions. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 8, n. 10, p. 7890–7901, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3076543>. Acesso em: 17 jul. 2025.

APÊNDICE A – ESTUDO DE DISPOSITIVOS VESTÍVEIS

Este apêndice detalha os resultados do estudo comparativo sobre dispositivos vestíveis (*wearables*), realizado para fundamentar a escolha do hardware utilizado no projeto. A análise focou em um critério técnico essencial: a capacidade de extração de dados brutos dos sensores de movimento, um requisito para o desenvolvimento de algoritmos personalizados.

A.1 Análise Comparativa de Acesso a Sensores

A seleção de um dispositivo para monitoramento de saúde depende fortemente da acessibilidade de seus dados. Muitas marcas restringem o acesso aos dados brutos de sensores como o acelerômetro e o giroscópio, fornecendo apenas métricas processadas (ex: contagem de passos, calorias). A Figura 26 resume a capacidade de leitura de dados brutos em diversos dispositivos populares, com base em documentação oficial de APIs, SDKs e esforços de engenharia reversa da comunidade.

A.2 Especificações do Dispositivo Selecionado

Com base na análise de custo-benefício e na comprovada capacidade de acesso aos dados brutos dos sensores, o anel inteligente **Colmi R06** foi o dispositivo selecionado para o desenvolvimento e validação deste projeto. Suas especificações técnicas são detalhadas na Figura 27.

Figura 26 – Acesso a dados brutos de acelerômetro e giroscópio por dispositivo.

Dispositivo	Mecanismo de Acesso	Detalhes Técnicos	Dados Brutos?
Colmi R06	BLE com comandos HEX	Comunicação direta via UUIDs BLE usando comandos HEX, permitindo leitura <i>raw</i> .	Sim
Samsung Galaxy Ring	SDK Samsung Health	Acesso via SensorManager e APIs oficiais do SDK da Samsung.	Sim
Oura Ring 3	BLE privado / API Cloud	Acesso via API na nuvem fornece apenas dados processados. O acesso direto via BLE é proprietário.	Não
Ultrahuman Ring Air	BLE privado	Protocolo Bluetooth proprietário, sem APIs públicas para acesso a dados brutos de movimento.	Não
Apple Watch Series / Ultra	Core Motion (Sensor Kit)	Acesso via CMMotionManager para dados brutos, validado em apps nativos.	Sim
Samsung Galaxy Watch 6	Wear OS + SDK Samsung Health	Acesso via SensorManager e APIs do SDK da Samsung para Wear OS.	Sim
Xiaomi Watch 2 / Pro	BLE privativo	Dados de movimento não são expostos em APIs públicas.	Não
Huawei Watch GT 4	APIs proprietárias	Acesso restrito ao ecossistema da Huawei, fornecendo apenas dados processados.	Não
Garmin Forerunner 255	Garmin Connect IQ API	API focada em widgets e apps de alto nível; sem acesso direto aos sensores brutos.	Não
Amazfit GTR 4	Zep API	API fornece dados processados; sem documentação pública para acesso <i>raw</i> .	Não
Xiaomi Mi Band 6 / 8	BLE (via Gadgetbridge)	Engenharia reversa da comunidade permite leitura via BLE e extração do banco de dados local.	Parcial

Figura 27 – Especificações técnicas do anel inteligente Colmi R06.

Característica	Detalhes
Material	Aço inoxidável
Conectividade	Bluetooth 5.0 (BLE)
Compatibilidade	Android 5.1 ou superior; iOS 8.0 ou superior
Bateria	17mAh (Li-Po)
Autonomia (típica)	4-6 dias
Resistência à Água	IP68 e 5ATM
Sensor de Movimento	Acelerômetro de 3 eixos (STK8321)
Sensor de Saúde	Fotopletismografia (PPG) - Vcare VC30F
Aplicativo Oficial	QRing