



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

FLAVIO AUGUSTO GLAPINSKI ZACCA

**Uma arquitetura para integração de
dispositivos e coleta de dados em jogos
sérios multimodais**

Goiânia
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Flavio Augusto Glapinski Zacca

3. Título do trabalho

Uma arquitetura para integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Teixeira De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 25/09/2023, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Augusto Glapinski Zacca, Discente**, em 25/09/2023, às 16:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4069143** e o código CRC **CC653D11**.

FLAVIO AUGUSTO GLAPINSKI ZACCA

Uma arquitetura para integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Ciência da Computação

Orientador: Prof. Sergio Teixeira de Carvalho

Goiânia
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Zacca, Flavio Augusto Glapinski

Uma arquitetura para integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais [manuscrito] / Flavio Augusto Glapinski Zacca. - 2023.

LXXXII, 82 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Teixeira de Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Informática (INF), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Goiânia, 2023.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras.

1. Jogos Sérios Multimodais. 2. Integração de dispositivos. 3. Arquitetura de coleta de dados. 4. Coleta e análise de dados. 5. Monitoramento Remoto. I. Carvalho, Sérgio Teixeira de, orient. II. Título.

CDU 004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 14 da sessão de Defesa de Dissertação de Flavio Augusto Glapinski Zacca, que confere o título de Mestre em Ciência da Computação, na área de concentração em Ciência da Computação.

Aos vinte e cinco dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três, a partir das nove horas, na sala 151 do INF, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**Uma arquitetura para integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Sergio Teixeira de Carvalho (INF/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Alessandro Copetti (ICT/UFG), membro titular externo; Professor Doutor Bruno Oliveira Silvestre (INF/UFG), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Sergio Teixeira de Carvalho, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e cinco dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Oliveira Silvestre, Professor do Magistério Superior**, em 25/08/2023, às 11:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandro Copetti, Usuário Externo**, em 25/08/2023, às 11:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sérgio Teixeira De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 25/08/2023, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Augusto Glapinski Zacca, Discente**, em 25/08/2023, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3931177** e o código CRC **73C412F6**.

Referência: Processo nº 23070.040957/2023-65

SEI nº 3931177

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho e para minha jornada acadêmica.

Primeiramente, minha mais profunda gratidão vai para minha família. A vocês, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, compartilhando os desafios e celebrando as conquistas, não tenho palavras suficientes para expressar o quanto sou grato. À minha esposa Jéssica e à minha filha Isabela, por compreenderem minha ausência em muitos momentos e por sempre me apoiarem com amor e paciência.

Agradeço ao professor Dr. Sérgio Teixeira, meu orientador, pela dedicação, orientação e empenho ao longo de toda essa jornada. Sua expertise e disponibilidade para me guiar foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Além disso, agradeço por ser um exemplo de pessoa acolhedora e tranquila, sempre disposta a oferecer ajuda e apoio.

À equipe do grupo de pesquisa LABIS, meu sincero agradecimento. A convivência com todos vocês foi enriquecedora e inspiradora. As conversas nos corredores, os cafés compartilhados, os rodízios de pizzas e os desafios superados juntos fizeram parte de uma experiência única e memorável.

Por fim, quero expressar minha gratidão a Deus. A Ele agradeço por me proporcionar a oportunidade e as condições para realizar este sonho. Sua orientação e graça estiveram presentes em cada etapa dessa jornada.

A todos que de alguma forma estiveram ao meu lado, meu mais profundo obrigado. Este trabalho não seria possível sem o apoio, incentivo e colaboração de cada um de vocês. Que nossos caminhos continuem a se cruzar em busca do conhecimento e do crescimento contínuo.

Resumo

Zacca, Flavio Augusto Glapinski. **Uma arquitetura para integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais**. Goiânia, 2023. 81p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

Esta dissertação aborda o desenvolvimento de uma arquitetura para integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais. No entanto, a integração de dispositivos e a coleta de dados em jogos sérios multimodais apresentam desafios técnicos e científicos a serem superados. O problema de pesquisa consiste na identificação e análise das dificuldades no compartilhamento de informações entre dispositivos heterogêneos, na ausência de protocolos de comunicação comuns, na limitação no aproveitamento dos dados em outras aplicações e na necessidade de uma arquitetura que possibilite a coleta, filtragem, processamento e disponibilização dos dados tratados para jogos sérios. O objetivo geral da pesquisa é desenvolver uma solução que permita a integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais, visando a disponibilização eficiente e transparente dos dados tratados. A pesquisa foi embasada em estudos teóricos, análise de trabalhos relacionados, levantamento de requisitos e a implementação dessa arquitetura. Foram realizados estudos e experimentos práticos para avaliar a eficiência e viabilidade da arquitetura proposta, utilizando jogos multimodais desenvolvidos pelo grupo de pesquisa, como o Salus Cyber Ludens e o Cicloexergame, como casos de uso. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia da arquitetura no tratamento e aproveitamento dos dados provenientes de dispositivos, contribuindo para o avanço da área de jogos sérios multimodais. Conclui-se que a arquitetura proposta representa uma solução promissora para a integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais. Sua aplicação pode beneficiar áreas como saúde, educação e indústria, ampliando as possibilidades de interação e promovendo avanços na área de jogos sérios multimodais.

Palavras-chave

<Jogos Sérios Multimodais, Integração de dispositivos, Arquitetura de coleta de dados, Coleta e análise de dados, Monitoramento Remoto>

Abstract

Zacca, Flavio Augusto Glapinski. T. Goiânia, 2023. 81p. MSc. Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

his dissertation addresses the development of an architecture for integrating devices and collecting data in multimodal serious games. However, integrating devices and collecting data in multimodal serious games present technical and scientific challenges to overcome. The research problem consists of identifying and analyzing difficulties in sharing information among heterogeneous devices, the absence of common communication protocols, limitations in utilizing data in other applications, and the need for an architecture enabling the collection, filtering, processing, and provisioning of treated data for serious games. The general objective of the research is to develop a solution allowing the integration of devices and data collection in multimodal serious games, aiming for efficient and transparent provisioning of treated data. The research is grounded in theoretical studies, analysis of related works, requirements gathering, and the implementation of this architecture. The research includes theoretical studies, analysis of related works, requirements gathering, and the implementation of this architecture. Practical studies and experiments were conducted to assess the efficiency and viability of the proposed architecture, using multimodal games developed by the research group, such as Salus Cyber Ludens and Cicloexergame, as use cases. The obtained results demonstrated the effectiveness of the architecture in handling and leveraging data from devices, contributing to the advancement of the field of multimodal serious games. In conclusion, the proposed architecture represents a promising solution for integrating devices and collecting data in multimodal serious games. Its application can benefit areas such as health, education, and industry, expanding interaction possibilities and promoting advancements in the field of multimodal serious games.

Keywords

<Multimodal Serious Games, Device Integration, Data Collection Architecture, Data Collection and Analysis, Remote Monitoring>

Sumário

Lista de Figuras	10
1 Introdução	11
1.1 Descrição do Problema	12
1.2 Objetivos	13
1.3 Percurso Metodológico	14
1.3.1 Levantamento de Requisitos da Arquitetura	14
1.3.2 Alinhamento com Grupos de Pesquisa	14
1.3.3 Implementação da Arquitetura de Teste	15
1.3.4 Melhorias na Arquitetura Conceitual	15
1.3.5 Implementação da Arquitetura Proposta	15
1.3.6 Testes e Avaliações	15
1.3.7 Considerações Finais	15
1.4 Organização do Texto	16
2 Jogos Sérios e Dispositivos de Saúde	17
2.1 Jogos sérios multimodais	17
2.2 Dispositivos de Saúde	19
2.2.1 Tipos de Dispositivos de Saúde	19
2.2.2 Cuidado em Saúde	20
2.2.3 Reconhecimento de Atividade Humana Baseado em Sensores	21
2.3 Salus Ciber Ludens: Um Jogo para o Autocuidado Utilizando a Internet das Coisas	24
2.3.1 Integração da Tecnologia IoT no Jogo Salus Ciber Ludens	24
2.3.2 Arquitetura do Salus Ciber Ludens	25
2.4 Cicloexergame	27
2.5 Bluetooth SIG	28
2.6 Trabalhos Relacionados	29
2.7 Considerações Finais	33
3 Arquitetura	35
3.1 A arquitetura: Concepção e Funcionalidades	35
3.1.1 Concepção da Arquitetura	36
3.1.2 Funcionalidades da Arquitetura	36
3.1.3 Aplicações além da Saúde	37
3.2 Visão Geral da Arquitetura	37
3.3 Arquitetura Detalhada	39
3.3.1 Camada de Dispositivos	40
3.3.2 Dispositivos de Interação Microcontrolados	41

3.3.3	Dispositivos Bluetooth	42
3.3.4	Camada de Interface	44
	Requisitos Necessários	45
	Seleção do Microcontrolador	46
	Conversão de Sinais Analógicos para Digitais	46
	Proteção e Condicionamento de Sinais	46
	Interface de Comunicação	47
	Comunicação Wireless	47
	Programação e Desenvolvimento de Firmware	47
	Integração com a Arquitetura	48
3.3.5	Camada Middleware	48
3.3.6	Módulos de Comunicação e Infraestrutura de Nuvem	48
	Protocolo de Comunicação Publisher/Subscriber	49
	Protocolo de Comunicação RESTful API	50
	Módulo de Armazenamento	51
3.3.7	Camada Endpoints	52
	Interface Web	52
	Endpoint de Dados dos Dispositivos	53
	Endpoint para Aquisição de Dados Históricos	54
3.4	Considerações Finais	55
4	Validação da proposta de arquitetura	56
4.1	Metodologia de Validação	57
4.1.1	Definição dos Objetivos de Validação	57
4.1.2	Procedimentos de Coleta de Dados	57
4.1.3	Análise e Avaliação dos Resultados	57
4.2	Validação da Arquitetura com o Salus Ciber Ludens	59
4.2.1	Objetivos de Validação	59
4.2.2	Procedimentos de Validação	60
	Identificação e seleção dos dispositivos	60
	Desenvolvimento da estrutura física e dos componentes de hardware	61
	Dispositivos Desenvolvidos	63
4.3	Uso da Arquitetura com o CicloExerGame	68
4.3.1	Desenvolvimento dos Novos Sensores	68
4.3.2	Integração com a Arquitetura e Camada de Middleware	70
4.3.3	Integração e Interação com o CicloExerGame	70
4.3.4	Testes com o Motor de Jogos do CicloExerGame	71
4.3.5	Considerações e Continuidade	71
4.4	Implementação das Camadas de Software	71
	Realização de testes para verificar a funcionalidade e a efetividade dos dispositivos integrados	72
4.5	Considerações Finais	74
5	Conclusão	75
	Referências Bibliográficas	77

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura Geral do SCL. Fonte: [29]	25
3.1	Visão geral da arquitetura proposta	38
3.2	Fluxograma da rotina de aquisição de dados do dispositivo de pressão arterial. Fonte: elaborado pelo autor (2023)	44
4.1	Esquemático do circuito elétrico do sensor de monitoramento climático com destaque para o sensor DHT11 e suas ligações com o microcontrolador.	64
4.2	Esquemático elétrico do circuito de potência para controle da fita LED RGB, destacando o uso dos transistores de potência e suas ligações com o microcontrolador.	66
4.3	Layout 3D da placa construída para controle da fita LED RGB.	67

Introdução

O uso de jogos sérios aplicados à saúde tem se tornado uma forte tendência no tratamento de doenças. A associação desses jogos com sensores, que captam movimentos e sinais vitais do paciente, ampliam oportunidades de aplicações em atividades terapêuticas e físico-motoras [10]. Essa integração de dispositivos com jogos sérios permite uma coleta mais precisa e contínua de dados de saúde, possibilitando uma personalização eficaz do tratamento.

O jogo sério multimodal aplicado à saúde tem como uma de suas características, o emprego de sensores para o monitoramento de sinais vitais do indivíduo. Esses dispositivos podem ser sensores de área corporal que coletam e disponibilizam dados através de estruturas específicas de rede, podendo ser compartilhados com outros dispositivos de mesmo fabricante [22].

No entanto, a integração desses dispositivos em jogos sérios pode ser um desafio complexo. A diversidade de dispositivos disponíveis no mercado, cada um com suas características específicas de comunicação e interoperabilidade, torna a tarefa de integração um processo exigente. Além disso, a performance dos dispositivos pode influenciar diretamente no desempenho dos jogos sérios, exigindo abordagens cuidadosas e soluções eficientes para garantir uma experiência satisfatória ao usuário [15]. Nesse contexto, enfrenta-se também a dificuldade de compartilhamento das informações entre dispositivos de diferentes fabricantes, bem como a ausência de protocolos de comunicação comuns, o que representa desafios adicionais para o desenvolvimento de aplicações práticas envolvendo dispositivos heterogêneos [20].

No contexto da pesquisa realizada pelo grupo da UFG, destacam-se dois jogos desenvolvidos que fazem uso de sensores para aprimorar a experiência terapêutica dos pacientes. O primeiro jogo, o SCL (Salus Ciber Luden), é um Jogo Sério MultiModal (JSMM) projetado para melhorar o engajamento de pacientes no tratamento de doenças crônicas não transmissíveis. Ele integra dispositivos médicos responsáveis pela aquisição da frequência cardíaca, pressão arterial, além de dispositivos de bem-estar que capturam dados sobre peso, passos realizados e movimentos corporais para o reconhecimento de atividades humanas [11]. A comunicação entre esses dispositivos e o jogo é desafiadora,

devido à heterogeneidade dos dispositivos e à necessidade de algoritmos complexos para o reconhecimento de atividades.

Outro jogo desenvolvido pelo grupo é o Exergame Distribuído com Cicloergômetro para a Reabilitação de Pacientes, que utiliza sensores para capturar os movimentos e dados vitais do paciente durante sessões de telerreabilitação. O objetivo desse jogo é tornar a prática de exercícios físicos mais motivadora e envolvente, promovendo o engajamento dos pacientes em seu processo de reabilitação [37]. No entanto, a integração dos dispositivos e a coleta de dados representam desafios técnicos e científicos significativos.

Existe então a necessidade de desenvolvimento de uma arquitetura intermediária responsável pela aquisição, processamento, armazenamento e compartilhamento de informações coletadas dos dispositivos através de interface acessível e distribuída. Essa arquitetura não apenas viabilizaria a implementação de sensores e atuadores reais ao SCL, mas também fortaleceria a capacidade de integração de outros projetos, como o "Exergame Distribuído com Cicloergômetro para a Reabilitação de Pacientes". Através dessa estrutura, a incorporação de novos sensores e a utilização de dispositivos já desenvolvidos seriam simplificadas e eficientes. Essa abordagem versátil não somente aprimoraria o funcionamento dos dispositivos existentes, mas também pavimentaria o caminho para a expansão contínua da plataforma, tornando-a mais adaptável, escalável e preparada para a evolução constante das tecnologias de dispositivos e necessidades clínicas.

Diante desse cenário, torna-se necessário o desenvolvimento de uma arquitetura intermediária que seja capaz de lidar com a aquisição, processamento, armazenamento e compartilhamento das informações coletadas dos dispositivos, por meio de uma interface acessível e distribuída. Essa arquitetura proposta visa não apenas atender às necessidades dos jogos mencionados, mas também possibilitar a utilização de dispositivos em outros projetos com características similares.

Este trabalho aborda o desenvolvimento de uma arquitetura que visa propiciar a utilização de dispositivos heterogêneos em jogos sérios multimodais. Para demonstrar e validar o funcionamento dessa arquitetura, será realizado comparativo entre a complexidade da aquisição de dados de dispositivos de forma direta em um jogo sério multimodal aplicado à saúde com característica de manutenção do autocuidado, e também a aquisição dos mesmos dados utilizando a arquitetura proposta.

1.1 Descrição do Problema

Os jogos sérios ainda carecem de uma definição precisa por parte dos pesquisadores, embora existam direcionamentos em relação aos propósitos que podem ser buscados, como sua aplicação na educação, militar, saúde e outros [30]. Esses jogos apresentam aspectos que vão além do entretenimento, destacando-se a segurança na detecção de indí-

cios de situações de risco ao indivíduo, a complementaridade da informação por meio da participação de especialistas e a flexibilidade nos parâmetros de entrada e saída, proporcionando maior conforto ao usuário e análises mais assertivas [30].

A interação multimodal refere-se à capacidade de interagir com sistemas utilizando várias modalidades ou canais, além dos mecanismos tradicionais como mouse, teclado e telas [40]. Essa forma de interação apresenta um potencial relevante para atender à necessidade de flexibilidade nos jogos sérios, uma vez que permite a utilização de diferentes fontes, inclusive simultaneamente, como reconhecimento de voz, reconhecimento facial, movimentos corporais e sensores biométricos [28].

Os dispositivos utilizados nesses jogos coletam e disponibilizam dados por meio de estruturas específicas de rede e, em alguns casos, podem ser compartilhados com outros dispositivos do mesmo fabricante [22]. No entanto, a dificuldade de compartilhamento de informações com outras aplicações e a ausência de protocolos de comunicação comuns [20] representam desafios para o desenvolvimento de aplicações práticas envolvendo dispositivos heterogêneos.

Considerando esses desafios, a presente dissertação de mestrado propõe o desenvolvimento de uma arquitetura capaz de coletar dados provenientes de dispositivos heterogêneos, filtrar e processar essas informações de acordo com o contexto, e fornecer os dados tratados e classificados para jogos sérios multimodais de forma transparente, distribuída e eficiente. Essa arquitetura busca superar a dificuldade de compartilhamento de informações entre dispositivos e permitir a utilização dos dados coletados em outras aplicações, além dos protótipos desenvolvidos especificamente para essa finalidade [39, 38, 28].

1.2 Objetivos

Os objetivos gerais e específicos desta dissertação visam abordar os desafios técnicos e científicos relacionados à integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais.

Objetivo Geral: Desenvolver uma arquitetura para a integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais, visando a disponibilização eficiente e transparente dos dados tratados para o desenvolvimento dessas classes de jogos.

Objetivos Específicos:

1. Identificar e analisar os desafios técnicos e científicos associados à integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais.
2. Avaliar as dificuldades no compartilhamento de informações entre dispositivos heterogêneos e a ausência de protocolos de comunicação comuns.

3. Analisar trabalhos relacionados que abordam a comunicação com sensores em jogos sérios multimodais e sua limitação no aproveitamento dos dados em outras aplicações.
4. Propor uma arquitetura que possibilite a coleta, filtragem, processamento e disponibilização eficiente dos dados provenientes de dispositivos heterogêneos para o desenvolvimento de jogos sérios multimodais.
5. Realizar estudos e experimentos práticos para avaliar a eficiência e viabilidade da arquitetura proposta.

Esses objetivos seguem a direção de contribuir para o avanço da área de jogos sérios multimodais, superando os desafios técnicos e científicos relacionados à integração de dispositivos e coleta de dados, e fornecendo uma base para o desenvolvimento de jogos sérios mais eficientes e com maior potencial de impacto em diversos contextos.

1.3 Percurso Metodológico

O percurso metodológico desta pesquisa segue uma abordagem metodológica experimental, em conformidade com os princípios propostos por Wazlawick [41]. O objetivo principal é desenvolver uma arquitetura para a integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais, visando a disponibilização eficiente e transparente dos dados tratados para o desenvolvimento desses jogos. Para atingir esse objetivo, uma série de etapas é delineada, como descrito a seguir.

1.3.1 Levantamento de Requisitos da Arquitetura

Esta etapa consiste em um estudo sistemático da literatura relacionada à integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais. O objetivo é identificar e analisar os desafios técnicos e científicos associados a essa integração, bem como investigar as características e benefícios da interação multimodal. Nesse contexto, são exploradas diferentes modalidades e canais de interação, visando compreender as melhores práticas e soluções adotadas na área.

1.3.2 Alinhamento com Grupos de Pesquisa

Com base nos requisitos levantados, deve-se estabelecer colaborações e parcerias com grupos que desenvolvem jogos sérios multimodais dentro do mesmo grupo de pesquisa. Essa interação possibilita o compartilhamento da proposta de arquitetura, a troca de conhecimentos e a obtenção de feedback especializado. Esse alinhamento é fundamental

para a validação dos requisitos identificados e para se aperfeiçoar o desenvolvimento da arquitetura proposta.

1.3.3 Implementação da Arquitetura de Teste

Uma versão inicial da arquitetura proposta é desenvolvida nessa etapa, visando possibilitar a coleta, filtragem, processamento e disponibilização eficiente dos dados provenientes de dispositivos heterogêneos em jogos sérios multimodais. A condução de testes preliminares para avaliar a funcionalidade e a eficiência da arquitetura em um ambiente controlado se faz necessária. Esses testes permitem identificar eventuais ajustes e melhorias necessárias.

1.3.4 Melhorias na Arquitetura Conceitual

Com base nos resultados obtidos nos testes iniciais, uma análise aprofundada é realizada para identificar possíveis melhorias na arquitetura conceitual. Os componentes da arquitetura são refinados e aprimorados com base nos resultados adquiridos durante os testes. Atenção especial deve ser conferida aos desafios técnicos e científicos identificados, buscando soluções mais eficientes e robustas.

1.3.5 Implementação da Arquitetura Proposta

Após as melhorias conceituais, a arquitetura proposta é desenvolvida em sua versão final. A implementação considera as alterações e refinamentos realizados na etapa anterior. A arquitetura é integrada em dois jogos sérios multimodais desenvolvidos pelo grupo de pesquisa, possibilitando uma avaliação mais realista e abrangente de sua eficiência e viabilidade.

1.3.6 Testes e Avaliações

A última etapa do percurso metodológico envolve a realização de estudos e experimentos práticos para avaliar a eficiência e viabilidade da arquitetura proposta. Testes comparativos são conduzidos considerando trabalhos relacionados encontrados na revisão bibliográfica. Isso permite uma análise mais abrangente do impacto da arquitetura proposta no contexto dos jogos sérios multimodais.

1.3.7 Considerações Finais

O percurso metodológico delineado orienta a pesquisa desde a revisão da literatura até a análise e interpretação dos resultados obtidos. É importante ressaltar que a

natureza experimental deste estudo permite o ajuste e a adaptação das etapas conforme necessário, com base nos resultados obtidos e nas particularidades específicas desta pesquisa de mestrado.

1.4 Organização do Texto

No Capítulo 2, explora-se a base teórica da arquitetura proposta, enfocando os conceitos-chave dos Jogos Sérios Multimodais e os desafios enfrentados na integração de dispositivos e coleta de dados nesse contexto. Além disso, são apresentados e criticamente analisados artigos relacionados que abordam a comunicação com sensores em jogos sérios multimodais, destacando limitações e possibilidades de aprimoramento.

No Capítulo 3, é detalhada a arquitetura proposta para a integração de dispositivos e coleta de dados em jogos sérios multimodais. São apresentados os componentes-chave da arquitetura, os protocolos de comunicação utilizados e as estratégias para coleta, filtragem, processamento e disponibilização eficiente dos dados provenientes de dispositivos heterogêneos.

No Capítulo 4, são apresentados os testes práticos e experimentos realizados a fim de avaliar a eficiência e viabilidade da arquitetura proposta. Dois jogos sérios multimodais desenvolvidos pelo grupo de pesquisa são utilizados como cenários de teste. Os resultados obtidos são analisados e discutidos em relação aos objetivos específicos da pesquisa.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões finais da dissertação, destacando as contribuições da pesquisa, as limitações encontradas e as possíveis direções futuras. É feita uma síntese dos principais resultados e reforçada a importância da arquitetura proposta para o avanço da área de jogos sérios multimodais.

Jogos Sérios e Dispositivos de Saúde

Este capítulo explora a intersecção entre Jogos Sérios e Dispositivos de Saúde, investigando a integração de elementos que enriquecem as interações na área da saúde e do bem-estar. Serão abordados diversos tópicos fundamentais que delineiam essa convergência, começando pela exploração dos Jogos Sérios Multimodais, nos quais as modalidades de interação são expandidas para proporcionar experiências mais envolventes e personalizadas. Em seguida, será adentrado o âmbito dos Dispositivos de Saúde, compreendendo os diferentes tipos disponíveis, como eles se encaixam na Computação Sensível ao Contexto e sua aplicação em cuidados de saúde e no Reconhecimento de Atividade Humana Baseado em Sensores. O capítulo também examina o *Salus Ciber Ludens* (SCL), um jogo voltado para o autocuidado que utiliza a Internet das Coisas (IoT) como plataforma. A integração da tecnologia IoT nesse jogo, bem como a arquitetura que sustenta sua funcionalidade, serão discutidas em detalhes. Além disso, apresentamos o *Cicloexergame*, explorando suas características e potencial para a promoção de atividades físicas. Por fim, o Bluetooth SIG é introduzido como um elemento essencial na conexão entre dispositivos de saúde e sistemas de jogos. Este capítulo também trata de trabalhos relacionados, fornecendo uma visão abrangente do panorama de pesquisa nessa intersecção entre Jogos Sérios e Dispositivos de Saúde.

2.1 Jogos sérios multimodais

Os Jogos Sérios Multimodais (JSMM) são uma abordagem avançada dos jogos sérios, que utilizam múltiplas modalidades de interação para enriquecer a experiência do usuário. Essa abordagem vai além do tradicional paradigma de interface gráfica e explora sistemas interativos que ampliam as entradas e saídas clássicas dos sistemas computacionais, como mouse, teclado e monitor. Os JSMM buscam envolver os usuários de forma mais imersiva, incorporando elementos físicos, gestos, voz, movimentos corporais e feedback tátil [4].

O conceito de multimodalidade nos jogos sérios surge da compreensão de que diferentes modalidades sensoriais podem ser exploradas para melhorar a interação e a

compreensão do ambiente virtual, tornando a experiência mais rica. Essas modalidades podem incluir visão, audição, tato, movimento corporal, voz, entre outras.

Um dos principais desafios enfrentados na implementação de JSMM é a integração de dispositivos e a coleta de dados provenientes de diferentes fontes. Os jogos sérios multimodais podem requerer o uso de sensores e dispositivos diversos para capturar informações contextuais relevantes, como dados biométricos, movimentos corporais, expressões faciais, entre outros. Esses dispositivos podem variar desde câmeras de captura de movimento até sensores vestíveis, como smartwatches e pulseiras inteligentes. A integração eficiente desses dispositivos e a sincronização dos dados coletados são elementos críticos para o bom funcionamento dos JSMMs.

Além disso, a sincronização das modalidades de interação é um aspecto fundamental para garantir a coerência e a fluidez da experiência do usuário nos JSMM. É necessário que as diferentes modalidades estejam em sincronia, proporcionando uma interação fluida e natural. Por exemplo, se um jogador realizar um gesto com as mãos, esse gesto deve ser capturado e refletido no ambiente virtual de forma precisa e instantânea. Essa sincronização requer o desenvolvimento de algoritmos e técnicas específicas, bem como a adoção de protocolos de comunicação adequados.

Outro desafio importante diz respeito à interpretação dos dados capturados pelos dispositivos. A análise e o processamento desses dados são essenciais para extrair informações relevantes e traduzi-las em ações dentro do jogo. Nesse sentido, técnicas de reconhecimento de padrões, processamento de sinais, aprendizado de máquina e inteligência artificial desempenham um papel fundamental na interpretação dos dados multimodais e na tomada de decisões dentro do ambiente do jogo.

As características distintivas dos JSMM, como a utilização de múltiplas modalidades de interação, a integração de dispositivos e a interpretação de dados multimodais, oferecem benefícios significativos. Esses jogos têm o potencial de proporcionar experiências imersivas, personalizadas e envolventes, que podem ser aplicadas em diversas áreas, como educação, treinamento, reabilitação, saúde e entretenimento.

No contexto da área da saúde, os JSMM têm sido explorados para promover a reabilitação física e cognitiva, monitorar e incentivar a prática de exercícios e auxiliar no tratamento de doenças crônicas. Esses jogos podem combinar atividades lúdicas com exercícios terapêuticos, tornando o processo de reabilitação mais motivador e eficaz [31].

Em suma, os Jogos Sérios Multimodais representam uma abordagem inovadora e promissora para a criação de experiências interativas e imersivas. A integração de múltiplas modalidades de interação, a utilização de dispositivos e a interpretação de dados multimodais trazem desafios e oportunidades para a criação de jogos sérios mais envolventes, personalizados e eficazes. O desenvolvimento desses jogos requer a integração de conhecimentos das áreas de computação, interação humano-computador, ciências da

saúde e educação, entre outras disciplinas, para criar experiências inovadoras e impactantes.

2.2 Dispositivos de Saúde

Esta seção explora o papel essencial dos dispositivos de saúde no contexto dos Jogos Sérios Multimodais, onde a convergência da tecnologia e da saúde oferece oportunidades inovadoras para promover hábitos saudáveis e melhorar a qualidade de vida. Ao considerar a aplicação de Jogos Sérios para a saúde, é importante compreender a ampla gama de dispositivos que compõem esse ecossistema. Dividida em três subseções distintas, esta seção oferece uma análise detalhada das facetas essenciais dos dispositivos de saúde e sua integração na arquitetura proposta.

2.2.1 Tipos de Dispositivos de Saúde

Começando com uma exploração dos tipos de dispositivos de saúde, pode-se examinar a distinção fundamental entre dispositivos médicos e dispositivos de bem-estar. Nesta subseção, abordaremos a classificação dos dispositivos médicos em relação à sua criticidade e função, abrangendo exemplos como monitores de pressão arterial, medidores de glicose e dispositivos de terapia respiratória. Paralelamente, exploramos os dispositivos de bem-estar, projetados para fomentar um estilo de vida saudável, incluindo rastreadores de atividades físicas, dispositivos de monitoramento do sono e aplicativos de gerenciamento de dieta. Compreender essas categorias fornece a base para uma integração eficaz desses dispositivos na arquitetura dos Jogos Sérios Multimodais.

Os dispositivos de saúde podem ser classificados em dois grupos: dispositivos médicos e dispositivos de bem-estar [14, 16, 26]. Os dispositivos médicos são produtos destinados à prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou anticoncepção, que não utilizam meios farmacológicos. Esses dispositivos são classificados em níveis I, II, III ou IV, de acordo com a criticidade do seu uso, conforme a RDC nº 185, de 22 de outubro de 2001 [27]. Eles incluem uma variedade de dispositivos, como monitores de pressão arterial, medidores de glicose, oxímetros de pulso, dispositivos de terapia respiratória, entre outros. Esses dispositivos são projetados para monitorar parâmetros de saúde e fornecer informações úteis para profissionais de saúde e pacientes.

Por outro lado, os dispositivos de bem-estar são voltados para promover um estilo de vida saudável e apresentam um risco muito baixo para a segurança dos usuários. Esses dispositivos incluem rastreadores de atividades físicas, dispositivos de monitoramento do sono, aplicativos de gerenciamento de dieta, entre outros. Eles são projetados para auxiliar os usuários no monitoramento e na promoção de seu próprio bem-estar, fornecendo

informações sobre atividades diárias, qualidade do sono, calorias queimadas, entre outros dados relevantes.

No contexto dos Jogos Sérios Multimodais, a utilização de dispositivos de saúde pode ser fundamental para a coleta de dados biométricos e informações sobre as atividades do usuário. Esses dispositivos fornecem uma fonte adicional de dados que pode enriquecer a experiência do jogo e permitir uma interação mais precisa e personalizada. Além disso, a integração de dispositivos de saúde nos jogos pode incentivar a adoção de hábitos saudáveis, monitorar o progresso do usuário em metas de saúde e proporcionar um feedback contínuo para melhorar o desempenho e o engajamento do jogador.

No desenvolvimento da arquitetura proposta, é importante considerar os diferentes tipos de dispositivos de saúde que podem ser utilizados, levando em conta suas funcionalidades, protocolos de comunicação e requisitos técnicos. A integração eficiente desses dispositivos na arquitetura permitirá a coleta, o processamento e a interpretação adequados dos dados, contribuindo para a eficácia e a qualidade dos Jogos Sérios Multimodais aplicados à saúde.

Assim, compreender os tipos de dispositivos de saúde disponíveis e suas características é essencial para o desenvolvimento da arquitetura proposta, fornecendo uma base sólida para a integração desses dispositivos e a criação de experiências de jogo mais imersivas e eficazes.

2.2.2 Cuidado em Saúde

A integração de novas tecnologias em sistemas médicos geralmente é trabalhosa [5]. Isso ocorre devido a uma série de questões, como conformidade com regulamentos, questões de privacidade, compatibilidade entre equipamentos médicos e aceitação pelos profissionais de saúde.

No contexto da saúde, o reconhecimento de atividades humanas tem sido utilizado tanto em ambientes de saúde [42, 24] quanto no monitoramento remoto de pacientes em suas casas [9, 44, 6].

Algumas propostas apresentam soluções que utilizam os sensores embutidos em smartphones para a detecção confiável de quedas em idosos [44]. Outras propõem uma solução também baseada em smartphones para a detecção das ações de sentar, descer escadas, subir escadas, ficar de pé, correr e caminhar [17]. Existem também propostas de reconhecimento de postura corporal utilizando dispositivos vestíveis, Kinect, acelerômetros, entre outros [43, 13]. Além disso, há trabalhos que utilizam RFID para reconhecer as atividades de um indivíduo [24, 12].

Um contexto na área da saúde em que a utilização de novas tecnologias pode ser mais facilmente aceita e que tem um grande impacto na vida pessoal é a manutenção

das práticas de autocuidado em doenças crônicas. Nesse sentido, o autocuidado é definido como um processo de manutenção da saúde por meio de práticas de promoção da saúde e gerenciamento da doença [32].

Essa definição captura a ideia de que o autocuidado abrange uma variedade de comportamentos, gerais e específicos da doença, nos quais as pessoas que sofrem de uma doença crônica se envolvem para manter sua estabilidade física e emocional. Esses comportamentos (por exemplo, garantir sono suficiente, tomar medicamentos prescritos, controlar o estresse, ser fisicamente ativo) são chamados de manutenção do autocuidado. Traduzido de [33].

Dadas essas definições, pode-se observar que o reconhecimento da atividade humana pode contribuir muito para a promoção do autocuidado. Ao observar a Tabela 2.1, pode-se perceber que algumas categorias convergem com os comportamentos de manutenção do autocuidado, como Deambulação, Exercício/fitness, Atividades de autocuidado e Atividades de transição.

2.2.3 Reconhecimento de Atividade Humana Baseado em Sensores

Apesar de o campo de reconhecimento de atividade humana ser objeto de muitos estudos na área de visão computacional, a utilização de informações visuais pode não ser adequada em contextos que exigem rigor na privacidade do usuário [8].

Projetar sistemas que realizam o reconhecimento de atividade humana com o uso de sensores requer responder a algumas questões [23]:

- Como selecionar os atributos a serem medidos?
- Como construir um sistema portátil, discreto e barato?
- Como extrair os recursos?
- Como coletar os dados no ambiente real?
- Como reconhecer a atividade humana de novos usuários sem a necessidade de retrainar o sistema?
- Como implementar em dispositivos móveis considerando suas limitações técnicas?

Além disso, dois desafios acompanham o desenvolvimento desses tipos de sistemas baseados em sensores: a heterogeneidade dos dados (diferentes protocolos, dissimilaridades entre os sinais, escalas, etc.) e a natureza de escala multi-temporal dos dados [34], uma vez que uma atividade é composta por movimentos complexos e durações diferentes.

Para aprimorar o entendimento do processo de reconhecimento de atividade, consideremos o seguinte cenário: um idoso está em casa realizando uma faxina. Em seu

Tabela 2.1: Tabela de categorização de atividades humanas

Categoria	Atividades
Atividades diárias	Passar roupa, comer, beber, usar o telefone, assistir TV, usar o computador, ler livro ou revista, ouvir música/rádio, participar de conversas, levantar da cama, dormir, Carregar uma caixa, levantar-se
Atividades domésticas	Organizar arquivos na papelada, limpar mesas, usar aspirador de pó, levar o lixo para fora, limpar uma mesa de jantar, lavar pratos, varrer com vassoura, limpar
Transporte	Andar de ônibus, andar de bicicleta, dirigir
Deambulação	Correr, sentar, ficar em pé, deitar, subir escadas, descer escadas, andar de escada rolante, andar de elevador, cair, parar, movimento casual
Atividades de cozinha	Encher a chaleira, despejar água fervente na caneca, adicionar o saquinho de chá, adicionar o açúcar, adicionar o leite, remover o saquinho de chá, despejar o leite fora da caneca, despejar água fervida fora da caneca, fazer o café, fazer o chá, fazer a aveia, fritar ovos, fazer uma bebida, cozinhar, verificar ferramentas e utensílios na cozinha, fazer um sanduíche, cozinhar o macarrão, cozinhar o arroz, alimentar os peixes
Exercício/fitness	Andar na esteira, correr na esteira, dança aeróbica, pular, correr, jogar basquete, jogar futebol, remar
Atividades de autocuidado	Aplicar maquiagem, escovar o cabelo, fazer a barba, ir ao banheiro, dar descarga, se vestir, escovar os dentes, lavar as mãos, lavar o rosto, lavar a roupa, secar o cabelo, tomar o medicamento
Atividades de transição	Deitar e se levantar, sentar e se levantar, subir e descer escadas

Fonte: Adaptado de [35]

bolso, há um smartphone, e em seu pulso, um smartwatch. Ambos os dispositivos coletam dados brutos por meio de acelerômetro e giroscópio, e o smartwatch também mede a frequência cardíaca (etapa de aquisição dos dados).

Dessa forma, os dados coletados pelo acelerômetro e giroscópio nos dois dispositivos podem fornecer informações diferentes sobre a mesma atividade. Portanto, é necessário pré-processar adequadamente ambos os conjuntos de dados coletados, a fim de remover ruídos e obter uma janela temporal útil da amostra dos dados (etapa de pré-processamento).

Existem duas abordagens mais citadas na literatura para a extração da informação [34]: os métodos artesanais, que utilizam equações estatísticas, e os métodos de aprendizado profundo (*deep learning*), que utilizam o reconhecimento de padrões em dados por meio de camadas. Em ambas as abordagens, o objetivo é converter os sinais mais

relevantes usados para determinadas atividades, e, nesse caso, a extração desses dados torna-se mais fácil considerando a janela temporal (etapa de extração).

Após a extração dos dados, o aprendizado de máquina é responsável pela classificação da atividade. No cenário mencionado, o sistema retornaria a atividade que o idoso está realizando, podendo classificá-la, por exemplo, como andando ou limpando, dependendo das atividades que o sistema é capaz de reconhecer ou que se deseja classificar. Essa classificação pode ser feita offline ou online, dependendo da demanda por essa informação (etapa de classificação).

Na literatura, há trabalhos que categorizam os tipos de atividades humanas a serem reconhecidas [25, 35]. A Tabela 2.1 apresenta a categorização em oito tipos.

Essa categorização permite visualizar melhor quais as atividades que estão sendo mais reconhecidas atualmente.

Ao considerar o desafio complexo do reconhecimento de atividade humana baseado em sensores, fica evidente a necessidade de abordagens interdisciplinares e adaptações técnicas cuidadosas. A integração de dispositivos sensoriais, como smartphones e smartwatches, com sistemas de aprendizado de máquina oferece uma promissora ferramenta para capturar e compreender as atividades humanas em diversos contextos. Com as inovações contínuas nas áreas de processamento de sinal, aprendizado de máquina e miniaturização de sensores, os sistemas de reconhecimento de atividade estão se tornando cada vez mais precisos e versáteis.

Essa capacidade de identificar e categorizar atividades humanas não apenas fornece insights para a saúde e o bem-estar, mas também abre portas para uma variedade de aplicações, incluindo jogos sérios multimodais. A combinação da detecção de atividade com a computação sensível ao contexto oferece a oportunidade de criar experiências de jogo mais imersivas e personalizadas, onde a reação do jogo pode ser adaptada não apenas às ações do jogador, mas também ao seu estado de saúde e níveis de atividade.

No contexto dos Jogos Sérios Multimodais, a interseção entre a análise de atividade humana e a tecnologia de dispositivos de saúde impulsiona a criação de experiências de jogo que transcendem o entretenimento, buscando ativamente melhorar a saúde e o bem-estar dos jogadores. Com base nesse desenvolvimento, surge uma perspectiva empolgante em que os jogos podem se tornar aliados no autocuidado, promovendo estilos de vida saudáveis, fornecendo feedback individualizado e incentivando comportamentos positivos. Essa evolução não apenas aprimora os Jogos Sérios Multimodais, mas também redefine o potencial transformador da interseção entre tecnologia e saúde.

2.3 Salus Ciber Ludens: Um Jogo para o Autocuidado Utilizando a Internet das Coisas

O presente trabalho aborda a proposta do jogo Salus Ciber Ludens [11] como uma solução interativa e lúdica voltada para melhorar o autocuidado em saúde. O jogo foi desenvolvido com base em quatro elementos teóricos fundamentais: o conhecimento da área-fim, a condição de saúde, o tratamento e o autocuidado; o jogo como uma abordagem para aprimorar o engajamento dos indivíduos em seu cuidado pessoal; a Internet das Coisas (IoT) como meio integrador da solução proposta; e o *Discrete-Events Systems Specification* (DEVS), escolhido como modelo de representação do cenário especificado.

O Salus Ciber Ludens consiste em um aplicativo móvel e na instalação de sensores e atuadores no ambiente do usuário. Seu objetivo principal é incentivar o usuário a realizar atividades relacionadas ao autocuidado, como monitorar indicadores de saúde, tomar medicamentos e praticar exercícios físicos. A tecnologia IoT é empregada para coletar dados relevantes sobre o usuário e fornecer feedbacks personalizados, estimulando-o a manter uma rotina de cuidados.

O estudo apresentado neste jogo simula o funcionamento do jogo, exibindo a arquitetura de comunicação entre os componentes envolvidos. Além disso, são destacados os principais eixos de desenvolvimento do jogo, que abrangem os cuidados de saúde, os sensores e atuadores instalados no ambiente do usuário, bem como o aplicativo móvel.

2.3.1 Integração da Tecnologia IoT no Jogo Salus Ciber Ludens

O jogo Salus Ciber Ludens utiliza a tecnologia IoT para coletar dados relevantes sobre o autocuidado do usuário. Para tanto, sensores e atuadores são instalados no ambiente, estabelecendo comunicação com o aplicativo móvel do jogo. Esses sensores são responsáveis por coletar informações relacionadas a indicadores de saúde, medicamentos tomados e prática de exercícios físicos, por exemplo. Os dados coletados são enviados ao aplicativo móvel, que os processa e fornece feedbacks personalizados ao usuário.

Para realizar a comunicação entre os dispositivos, o sistema adota o paradigma publish/subscribe, no qual os dispositivos, como sensores e atuadores instalados no ambiente do usuário, atuam como publicadores de informações relevantes. Essas informações são então enviadas para um intermediário conhecido como broker, responsável por receber as mensagens dos dispositivos publicadores e encaminhá-las para os interessados, ou seja, os componentes que desejam receber esses dados, como o aplicativo móvel do jogo. Dessa forma, o broker atua como um facilitador na comunicação, garantindo a entrega das informações de forma eficiente e segura. O aplicativo móvel, por sua vez, desempenha o

papel de assinante, recebendo as informações do broker e processando-as para fornecer feedbacks personalizados ao usuário.

Ressalta-se que os resultados preliminares deste estudo sugerem que o jogo Salus Ciber Ludens pode se configurar como uma solução eficaz para aprimorar o engajamento dos indivíduos em seu autocuidado. Entretanto, é importante salientar que o estudo foi conduzido em um ambiente simulado e ainda não foi testado em usuários reais. Portanto, futuras pesquisas devem ser conduzidas a fim de avaliar a eficácia do jogo em um contexto real de autocuidado.

2.3.2 Arquitetura do Salus Ciber Ludens

O Salus Ciber Ludens é uma solução computacional projetada para promover o autocuidado de pessoas que desejam ou precisam cuidar de sua saúde, como é o caso de indivíduos com hipertensão arterial. Além disso, o SCL também oferece recursos para o monitoramento remoto dessas pessoas, proporcionando uma abordagem abrangente para o gerenciamento da saúde.

A Figura 2.1 apresenta a arquitetura geral do SCL, fornecendo uma visão geral do sistema. Essa estrutura é composta por três módulos principais, além de um webservice que atua como um ponto de comunicação central entre eles.

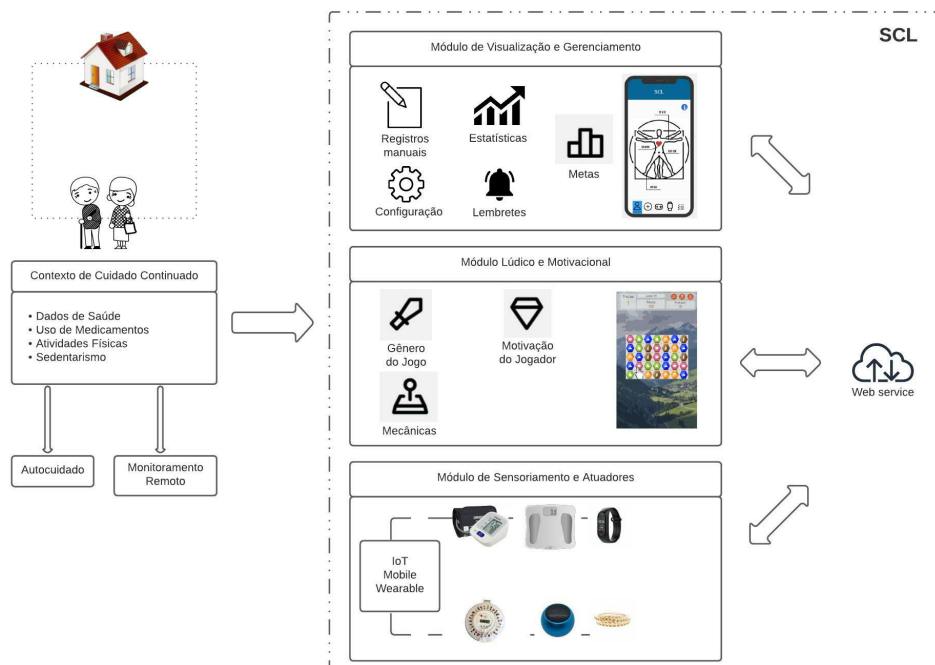


Figura 2.1: Arquitetura Geral do SCL. Fonte: [29]

O primeiro módulo, denominado Visualização e Gerenciamento, consiste em um aplicativo móvel que permite a configuração do sistema, o registro manual de informa-

ções, o acesso a estatísticas e o gerenciamento das metas de saúde utilizadas no jogo. Esse módulo proporciona ao usuário uma interface interativa e personalizável para interagir com o SCL.

O segundo módulo, chamado Lúdico e Motivacional, abrange uma biblioteca de jogos diversificados, abrangendo diferentes gêneros, para que o usuário possa escolher aquele que mais lhe agrada. Cada jogo possui suas próprias mecânicas e motivações, visando incentivar o usuário de maneira única. Até o momento, foi desenvolvido um jogo casual do gênero *tile-matching*, que utiliza narrativas desbloqueadas à medida que o usuário alcança suas metas de saúde. Esse módulo visa oferecer uma abordagem lúdica e envolvente para promover o autocuidado e o engajamento do usuário.

O jogo desenvolvido no contexto do SCL é direcionado a pessoas recém-diagnosticadas com hipertensão arterial, conforme indicado pela equipe médica. O tema central do jogo é a superação da tempestade e o controle da pressão arterial, uma metáfora para a vida de um indivíduo hipertenso, que precisa se adaptar e reduzir os níveis de pressão arterial para alcançar uma saúde equilibrada.

A estrutura do jogo é projetada para uma duração de seis semanas, em que, a cada semana, um conjunto de atividades (metas) é apresentado ao jogador. Por exemplo, na primeira semana, o tema é a definição da hipertensão arterial. Por meio de dispositivos inteligentes, o jogador acompanha seu peso, realiza medições diárias da pressão arterial e monitora continuamente suas atividades e frequência cardíaca. Esses dados influenciam a trajetória do personagem dentro do jogo, auxiliando o jogador a se engajar no autocuidado da hipertensão arterial.

O terceiro módulo, denominado Sensoriamento e Atuadores, é responsável pela comunicação entre dispositivos inteligentes e pelo processamento dos dados coletados, a fim de disponibilizá-los aos demais módulos do sistema. Esse módulo é fundamental para a integração de dispositivos heterogêneos, tanto em relação aos fabricantes quanto à forma como os dados são transmitidos. Com a utilização de dispositivos disponíveis no mercado, há a possibilidade de interação mais ubíqua em relação ao sistema, permitindo uma coleta abrangente de dados para suporte ao autocuidado.

Assim, o SCL se destaca como uma solução abrangente para o autocuidado e o gerenciamento de saúde, integrando jogos motivacionais, monitoramento remoto e o uso de dispositivos inteligentes para coleta de dados relevantes. A arquitetura do SCL propicia uma abordagem inovadora e interativa para promover o autocuidado e melhorar a qualidade de vida dos usuários envolvidos.

2.4 Cicloexergame

A telerreabilitação é uma abordagem que tem sido cada vez mais utilizada para auxiliar no processo de reabilitação de pacientes que apresentam disfunções motoras. Essa abordagem permite que o paciente realize as sessões de reabilitação em casa, utilizando equipamentos específicos e acompanhado por profissionais de saúde que monitoram o processo de recuperação. No entanto, muitos pacientes relatam que as sessões de telerreabilitação são enfadonhas e pouco motivadoras, o que pode comprometer a efetividade do tratamento.

Nesse contexto, o artigo Exergame Distribuído com Cicloergômetro para a Reabilitação de Pacientes [37] apresenta uma solução baseada em jogos que tem como objetivo tornar as sessões de telerreabilitação mais engajadoras e motivadoras. A solução proposta utiliza o Exergame, um jogo sério que tem como objetivo tornar a prática de exercícios físicos mais motivadora e menos enfadonha, promovendo o aumento do engajamento do paciente com o jogo.

O Exergame é construído a partir de uma arquitetura distribuída e utiliza sensores para capturar os movimentos do paciente durante as sessões de telerreabilitação. Para adquirir os dados desses sensores, foram realizadas adaptações no cicloergômetro e selecionados componentes e sensores difundidos no mercado que oferecem robustez, bom desempenho e precisão nos resultados. Esses dados são utilizados pelo jogo para criar e aprimorar a experiência com o paciente.

Além disso, o jogo também coleta dados vitais do paciente, como batimentos cardíacos e oxigenação do sangue. Esses dados são utilizados pelo jogo para criar uma experiência mais imersiva para o paciente. Através de estudos preliminares e revisão sistemática da literatura, foi levantada a hipótese de que essa abordagem pode ser eficaz em tornar as sessões mais envolventes, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes.

O protótipo desenvolvido no artigo foi testado em um estudo piloto com 10 pacientes que utilizaram o cicloergômetro para realizar as sessões de telerreabilitação. Os resultados obtidos indicaram que o Exergame Distribuído com Cicloergômetro para a Reabilitação de Pacientes foi bem aceito pelos pacientes e contribuiu para aumentar o engajamento e a motivação durante as sessões de telerreabilitação. Além disso, os pacientes relataram que o jogo tornou as sessões mais atraentes e menos enfadonhas.

Outra frente de continuidade está no desenvolvimento de novas funcionalidades para o protótipo apresentado no artigo. A criação de outros mapas e personagens, bem como a possibilidade de personalização do avatar (cor de pele e gênero, principalmente) são demandas que precisam ser tidas em consideração ao se fazer o processo de transformação deste Exergame em um produto que será, de fato, utilizado por pacientes. Um

estudo pode ainda verificar, na prática, a adaptabilidade dos dispositivos de hardware em outros modelos de bicicletas ergométricas que utilizem um sistema similar de contagem de pedaladas (utilizando um sensor magnético), contribuindo para a amplitude de aplicações desta solução.

2.5 Bluetooth SIG

O Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group) desempenha um papel importante na integração de dispositivos, tanto médicos quanto de bem-estar compatíveis com esse protocolo, devido às suas características que promovem a interoperabilidade e conectividade. Esta importância se torna especialmente evidente em pesquisas que envolvem a integração de dispositivos com jogos sérios, como demonstrado por resultados significativos obtidos nessa pesquisa. Ao estabelecer diretrizes e especificações técnicas, a SIG viabiliza a comunicação entre dispositivos Bluetooth de diferentes fabricantes, garantindo que essas soluções tecnológicas funcionem de maneira eficaz e confiável, independentemente de sua origem.

O Bluetooth SIG (*Bluetooth Special Interest Group*) é uma organização sem fins lucrativos que desempenha um papel fundamental no desenvolvimento, aprimoramento e padronização da tecnologia Bluetooth. Composta por uma comunidade global de empresas, a SIG tem como objetivo estabelecer diretrizes e especificações técnicas para garantir a compatibilidade e a interoperabilidade dos dispositivos Bluetooth fabricados por diferentes empresas.

Uma das principais responsabilidades da SIG é definir os padrões do Bluetooth, incluindo perfis, serviços, características e protocolos. Essas especificações são essenciais para permitir a comunicação eficiente e confiável entre dispositivos Bluetooth de fabricantes distintos. Ao estabelecer esses padrões, a SIG garante que dispositivos heterogêneos possam se conectar e interagir de maneira harmoniosa, independentemente de suas origens.

Além da definição de padrões, a SIG é encarregada de certificar os produtos dessa tecnologia. Os fabricantes que pretendem comercializar dispositivos com tecnologia Bluetooth devem submeter seus produtos a testes de conformidade conduzidos pela SIG. Esses testes são elaborados para verificar se os dispositivos estão em conformidade com as especificações estabelecidas, assegurando, assim, a qualidade e a confiabilidade dos produtos Bluetooth disponíveis no mercado.

O processo de certificação realizado pela SIG é rigoroso e inclui testes abrangentes de interoperabilidade, desempenho e conformidade. Somente após a aprovação desses testes, os dispositivos recebem a certificação Bluetooth, permitindo que os fabricantes exibam o logotipo oficial do Bluetooth em seus produtos. Essa certificação é essencial para os

consumidores, pois garante que os dispositivos Bluetooth adquiridos sejam compatíveis e funcionem adequadamente com outros dispositivos Bluetooth.

Além de suas atividades técnicas, a SIG desempenha um papel significativo na promoção e na conscientização sobre a tecnologia Bluetooth. A organização realiza eventos, conferências e programas educacionais para disseminar o conhecimento sobre o Bluetooth, suas aplicações e benefícios. Essas iniciativas incluem a divulgação de casos de uso, exemplos práticos e demonstrações de como o Bluetooth pode ser empregado em diversos setores, como saúde, automotivo, casa inteligente, entre outros.

2.6 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, serão apresentados artigos relacionados que abordam sistemas baseados na aquisição de dados por dispositivos aplicados em saúde, os quais são relevantes para a pesquisa em questão. Esses trabalhos exploram a capacidade de processamento e utilização posterior das informações coletadas. Além disso, serão abordados estudos relacionados ao reconhecimento de atividades na *edge intelligence*, uma vez que apresentam compatibilidade com a pesquisa em desenvolvimento, que envolve a aplicação de regras de contexto na arquitetura proposta.

O artigo intitulado Um Framework para Integrar Jogos Sérios e IoT [18] propõe um *framework* modular e interconectado para integrar Jogos Sérios (SGs) e Internet das Coisas (IoT). Os autores argumentam que a integração de SGs e IoT pode aprimorar a experiência de aprendizado, fornecendo *feedback* em tempo real e aprendizado personalizado. O *framework* proposto é projetado para ser escalável, neutro em relação à topologia e neutro em relação à aplicação, permitindo a integração de diferentes tipos de dispositivos heterogêneos.

O artigo revisa de forma abrangente a literatura sobre metodologias e *frameworks* de SGs, destacando a necessidade de uma abordagem modular que possa ser adaptada para atender às necessidades específicas de diferentes projetos. Os autores também discutem os desafios de medir o engajamento dos estudantes em ambientes de ensino a distância e propõem um algoritmo de dados para medir o engajamento, levando em consideração o background do estudante e o nível do material abordado.

O *framework* proposto pelos autores é modular e considera o fluxo de dados que começa do topo e termina na base. Ele abrange cinco camadas: sensoriamento, redes, *middleware*, aplicação e interface do usuário. Além disso, é apresentada uma arquitetura de sistema personalizada para medir o engajamento dos estudantes em SGs, que utiliza algoritmos de dados e tecnologia de motores de jogo para quantificar o engajamento comportamental e incorporar o engajamento cognitivo e emocional como pontos do jogo por meio de questionários incorporados ao jogo.

O artigo apresenta os resultados de experimentos realizados com estudantes universitários para determinar a eficácia da medição do engajamento dos estudantes por meio de um SG. Os experimentos envolveram dois grupos de participantes, um completando um questionário que mede o engajamento com seu programa de estudo e o outro jogando um SG e completando o mesmo questionário durante o jogo. Os resultados mostraram uma melhor medição do engajamento nos participantes que jogaram o jogo em comparação com aqueles que completaram questionários eletrônicos.

No trabalho apresentado por Jaiswal et al. [21], é proposta uma plataforma para aquisição de dados de sensores de saúde. O estudo utiliza uma placa para interface de múltiplos sensores, conectada a uma Raspberry Pi, responsável pelo processamento dos dados e pelo acionamento de mensagens em caso de detecção de eventos. Embora o trabalho mencione a possibilidade de utilizar sensores de pressão sanguínea, temperatura corporal ou glicosímetro, foram utilizados sensores de temperatura e umidade do ar devido às complexidades e particularidades envolvidas. Para a classificação dos dados coletados, foram aplicadas regras baseadas em intervalos de temperatura e umidade, sendo enviadas notificações quando necessário, utilizando um protocolo de mensagens.

Em outro estudo, Georgi et al. [14] apresentam uma arquitetura de *middleware* para a interoperabilidade de sensores de saúde. A pesquisa utiliza cinco sensores de saúde, incluindo balança, dois modelos de monitor de pressão sanguínea, oxímetro e *smartband*, além de uma estação meteorológica para medir parâmetros como temperatura, umidade, velocidade e força do vento. A arquitetura proposta consiste na aquisição dos dados por meio de comunicação Bluetooth e internet, permitindo que os dados sejam disponibilizados localmente para aproveitamento por outras aplicações.

O artigo [19] apresenta um *framework* de software validado para combinar a Internet das Coisas (IoT) e jogos sérios com o objetivo de medir o engajamento dos estudantes. O *framework* inclui redes de sensores intrínsecas e extrínsecas, módulos de *middleware* para intercomunicação entre as redes de sensores e a tecnologia de jogos, e conteúdo interativo que apresenta aos alunos um avatar que reage à medida semanal de engajamento acadêmico do aluno. A eficácia do *framework* foi testada por meio de um experimento de controle randomizado, no qual o grupo de tratamento mediu o engajamento dos alunos por meio de um jogo sério chamado SEA, que incorpora ferramentas de auto-reflexão dentro do jogo. Os resultados mostraram que o SEA alcançou uma correspondência exata nas medidas de engajamento, comprovando a validade do *framework* de software.

O desenvolvimento do *framework* foi baseado em uma abordagem de um para um, na qual um *script* verifica o cronograma para cada programa de estudo relacionado. Isso proporciona escalabilidade e permite que processos simultâneos sejam executados sem a necessidade de uma solução de programação complicada. Após o armazenamento

dos dados, a congestão do tráfego é analisada para cada aluno no programa. Caso o tempo de congestionamento seja maior do que a média, em comparação com um aluno que chega atrasado ou está ausente, uma notificação é enviada para alertá-lo sobre as condições atuais do tráfego. Outras fontes de API podem ser adicionadas seguindo fluxos semelhantes. As redes extrínsecas se integram ao sistema e fornecem informações úteis aos alunos.

O artigo destaca o potencial da IoT e dos jogos sérios para revolucionar a educação, melhorar o engajamento e a motivação dos alunos. Além disso, sugere que o *framework* de software apresentado no artigo pode ser adaptado para uso em outros projetos de pesquisa de IoT e incentiva mais pesquisas nessa área. Também é ressaltado o potencial da IoT e da gamificação para serem utilizados em áreas como saúde e outros campos relacionados.

A integração da Internet das Coisas (IoT) e jogos sérios tem o potencial de revolucionar a indústria de jogos e oferecer soluções inovadoras em áreas como educação, saúde e cidades inteligentes. No entanto, o desenvolvimento de jogos sérios habilitados para IoT apresenta desafios significativos, incluindo questões de conectividade, conformidade em tempo real e infraestrutura de rede. Nesse contexto, o artigo intitulado Performance Evaluation of Topological Infrastructure in Internet-of-Things-Enabled Serious Games [3] apresenta um *framework* padronizado para a integração de IoT e jogos sérios, visando acelerar a produção dessas aplicações e impulsionar o avanço da área acadêmica correspondente.

Ao revisar as pesquisas relacionadas, o artigo analisa topologias anteriores e as relaciona às redes baseadas em IoT, identificando os requisitos essenciais para jogos sérios habilitados para IoT. Além disso, são destacados parâmetros avaliados em diferentes infraestruturas de rede, apontando também possíveis direções para futuras pesquisas. Para embasar sua investigação, foi conduzida uma ampla busca em artigos relacionados presentes em renomados bancos de dados acadêmicos, como ACM, IEEE Xplore, Science Direct e Springer, utilizando termos-chave como IoT, Jogos Sérios e Jogos Sérios habilitados para IoT. Esses estudos identificados ilustram diferentes formas de *frameworks* modulares para jogos sérios, como o modelo impulsionado por S. Tang e M. Hanneghan, que incentivou o desenvolvimento de jogos sérios com propósitos educacionais em múltiplos domínios multidisciplinares, e o *framework* introduzido por Lameris et al., voltado para o uso de Jogos Sérios em pedagogia científica. Além disso, Koberid et al. apresentaram um *framework* para alcançar fluxo em jogos educacionais.

O artigo propõe um *framework* padronizado para jogos sérios em IoT, destacando seus principais componentes. Esse *framework* é modular e estimula a adaptação para aplicações específicas de serviço. Entre os componentes centrais estão a mecânica do jogo, o design do jogo, o conteúdo do jogo e a avaliação do jogo. Além disso, são

discutidas diferentes topologias, como a topologia em nuvem, a topologia ponto a ponto e a topologia sem infraestrutura.

A avaliação do artigo abrange a conectividade de jogos sérios usando IoT em redes com fio, redes sem fio e MANET (Mobile Ad Hoc Network). Os resultados indicam que a confiabilidade, eficiência e tempo de vida dos jogadores são melhores em redes sem fio do que em MANET. No entanto, a conectividade em jogos sérios com IoT deve considerar todos os fatores e buscar um melhor equilíbrio. Trabalhos futuros sugerem a proposição de uma topologia híbrida que integre os aspectos positivos das três topologias mencionadas, além de simular essa integração com protocolos adicionais, como HTTP, MQTT e CoAP. Além disso, a inteligência na camada de rede é apontada como um fator que também merece investigação no domínio de jogos sérios.

A integração de novas tecnologias em sistemas médicos apresenta desafios significativos, conforme discutido em um estudo anterior [5]. Esses desafios incluem conformidade com regulamentos, questões de privacidade, compatibilidade entre equipamentos médicos e aceitação por parte dos profissionais de saúde.

No contexto da área da saúde, o uso de dispositivos para o reconhecimento de atividades humanas tem sido explorado tanto em ambientes de saúde [42, 24] quanto na monitorização remota de pacientes em suas residências [9, 44, 6].

Diversas propostas têm sido apresentadas, algumas delas utilizando sensores embutidos em *smartphones* para a detecção confiável de quedas em idosos [44]. Outras propostas baseiam-se também em *smartphones* para a detecção de ações como sentar, descer escadas, subir escadas, ficar em pé, correr e caminhar [17]. Além disso, existem trabalhos que exploram o reconhecimento da postura corporal utilizando dispositivos vestíveis, o Kinect, acelerômetros e outras abordagens [43, 13]. Além disso, há estudos que utilizam tecnologia RFID para o reconhecimento de atividades de indivíduos [24, 12].

Nesta seção, foram apresentados artigos relacionados que abordam a integração de dispositivos de saúde em jogos sérios e sistemas de monitoramento remoto. Esses trabalhos contribuem para a compreensão do panorama atual das soluções existentes e ressaltam desafios significativos que precisam ser superados para uma integração eficaz. Entre as principais lacunas e desafios identificados nos trabalhos relacionados, destacam-se:

- **Falta de Padronização e Modularidade:** Muitos dos estudos revisados apresentam abordagens específicas e isoladas para a integração de dispositivos de saúde e jogos sérios, sem considerar uma padronização que permita a reutilização e adaptação das soluções em diferentes contextos.
- **Conectividade e Eficiência de Rede:** Alguns artigos mencionam a importância da conectividade eficiente das redes na integração de dispositivos e jogos, mas

poucos exploram em profundidade como lidar com os desafios de conectividade em cenários de uso real, incluindo possíveis interrupções de rede.

- **Adaptação a Diferentes Contextos:** Muitas soluções apresentadas nos artigos se aplicam a contextos específicos, o que ressalta a necessidade de abordagens modulares que possam ser adaptadas a diferentes cenários de saúde e jogos.
- **Integração de Tecnologias Heterogêneas:** A integração de dispositivos heterogêneos e a variedade de protocolos e formatos de dados presentes em ambientes de saúde não foram completamente abordadas por todos os estudos.

Essas lacunas e desafios identificados servem como base para a proposição da arquitetura detalhada no próximo capítulo, que busca superar essas limitações e oferecer uma solução mais completa e adaptável para a integração de dispositivos de saúde em jogos sérios e sistemas de monitoramento remoto.

2.7 Considerações Finais

Neste capítulo, foram abordados diversos tópicos fundamentais que delineiam a convergência entre jogos sérios e dispositivos de saúde, contribuindo para uma compreensão abrangente das interações entre essas duas áreas. A multimodalidade nos jogos sérios foi destacada como uma abordagem para enriquecer a interação e a experiência dos usuários, permitindo a exploração de diversas modalidades sensoriais, como visão, audição, tato, movimento corporal e voz.

A integração de dispositivos de saúde foi apresentada como um desafio essencial na implementação de jogos sérios multimodais. A variedade de tipos de dispositivos de saúde, desde sensores biométricos até dispositivos vestíveis como *smartwatches* e pulseiras inteligentes, demonstrou a amplitude das fontes de informações contextuais que podem ser capturadas.

A aplicação dos dispositivos de saúde no reconhecimento de atividade humana foi explorada, destacando a capacidade de capturar movimentos, expressões faciais e outros dados relevantes para compreender as ações e comportamentos dos indivíduos. O projeto *Salus Ciber Ludens* exemplificou a integração da Internet das Coisas em um jogo para o autocuidado, enquanto o *Cicloexergame* demonstrou como os dispositivos de sensores podem ser empregados na reabilitação de pacientes.

A análise dos padrões de comunicação Bluetooth SIG e a exploração de trabalhos relacionados enriqueceram a compreensão das tecnologias envolvidas nessa convergência entre jogos sérios e dispositivos de saúde.

Em síntese, este capítulo proporcionou uma visão panorâmica dos principais temas que constituem a interseção entre jogos sérios e dispositivos de saúde. Esses

conceitos estabelecem as bases conceituais e práticas para a pesquisa em andamento, na qual a proposta de uma arquitetura intermediária visa enfrentar os desafios de integração e coleta de dados, promovendo o desenvolvimento eficaz de jogos sérios multimodais.

Arquitetura

Neste capítulo será apresentada a arquitetura proposta. É relevante ressaltar o contexto em que essa proposta foi desenvolvida, considerando a existência de um grupo de pesquisa dedicado à criação e aplicação de jogos sérios na área da saúde. Nesse grupo, foram realizados estudos e desenvolvidos jogos, como o SCL e o Cicloexergame, que obtiveram reconhecimento e publicações internacionais [36, 29].

Diante desse cenário, a definição das características dos dispositivos a serem utilizados na arquitetura proposta foi baseada na experiência prévia do grupo de pesquisa com esses jogos e com outros jogos sérios aplicados à saúde. Essa escolha teve como objetivo principal a maximização do aproveitamento desses dispositivos em jogos já em produção. Afinal, a utilização de dispositivos específicos pode agregar valor e proporcionar uma experiência mais completa e imersiva aos usuários.

É importante ressaltar que a arquitetura proposta foi concebida com flexibilidade e abertura, com o objetivo de permitir sua aplicação em diversas áreas além da saúde, abrangendo diferentes dispositivos associados. A motivação por trás do desenvolvimento dessa arquitetura é possibilitar sua utilização em diversos contextos e aplicações, considerando a interoperabilidade dos dispositivos e a capacidade de adaptação às necessidades específicas de cada área.

Dessa forma, a arquitetura proposta apresenta potencial para ser empregada em diversos campos, como educação, entretenimento, esportes, segurança, entre outros. Ao estabelecer uma estrutura que viabiliza a integração de dispositivos heterogêneos, a arquitetura permite a criação de novas soluções interativas e lúdicas, explorando o potencial desses dispositivos em diferentes domínios.

3.1 A arquitetura: Concepção e Funcionalidades

Esta seção apresenta em detalhes a arquitetura proposta para o sistema de integração de dispositivos e jogos voltados para o autocuidado em saúde. Discutiremos a concepção da arquitetura, as funcionalidades que ela oferece e como ela pode ser aplicada em diferentes contextos.

A integração de novas tecnologias em sistemas médicos é, geralmente, trabalhosa [5]. Isto ocorre devido uma série de questões, como a conformidade com os regulamentos, questões de privacidade e segurança, compatibilidade entre equipamentos médicos, aceitação dos profissionais de saúde. De forma muito próxima ocorre com o desenvolvimento de JSMM aplicados à saúde; com essa motivação tornou-se relevante o desenvolvimento de uma arquitetura que tanto facilitasse o desenvolvimento de JSMM aplicados à saúde quanto atendessem à requisitos do uso desses dispositivos na saúde.

3.1.1 Concepção da Arquitetura

A concepção da arquitetura foi guiada pelo objetivo de criar uma infraestrutura flexível, escalável e interoperável, capaz de integrar diversos dispositivos e jogos sérios multimodais. Para isso, foi necessário considerar as necessidades específicas dos jogos já existentes e dos dispositivos disponíveis no mercado.

Um aspecto fundamental na concepção da arquitetura foi a estreita colaboração com um grupo de pesquisa especializado em jogos sérios aplicados à saúde. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foram identificadas dificuldades recorrentes enfrentadas pelo grupo na integração de dispositivos com seus jogos. Essas dificuldades incluíam desafios específicos relacionados às limitações e peculiaridades dos dispositivos utilizados. A partir desse contexto, surgiu a necessidade de desenvolver uma arquitetura que facilitasse a integração e o aproveitamento eficiente dos dispositivos nos jogos sérios multimodais.

A arquitetura foi projetada para permitir a integração de diferentes tipos de dispositivos, como sensores biométricos, monitores de atividade física e dispositivos de controle de medicação. Além disso, ela foi pensada de forma a permitir a expansão e inclusão de novos dispositivos no futuro, garantindo a compatibilidade com tecnologias emergentes.

3.1.2 Funcionalidades da Arquitetura

A arquitetura proposta oferece diversas funcionalidades que visam facilitar a coleta de dados, o processamento e a utilização dessas informações no contexto do autocuidado em saúde. As funcionalidades da arquitetura são:

- **Integração de Dispositivos:** A arquitetura permite a integração de diferentes dispositivos de forma transparente, facilitando a coleta de dados de saúde dos usuários. Isso inclui a comunicação com sensores biométricos, dispositivos de monitoramento de atividade física e outros dispositivos relacionados ao autocuidado.
- **Armazenamento Distribuído:** Os dados coletados pelos dispositivos são armazenados de forma distribuída, garantindo o acesso aos dados do usuário. Isso permite

o armazenamento de informações em nuvem e o acesso a partir de diferentes dispositivos e aplicações.

- **Processamento e Análise de Dados:** A arquitetura conta com recursos para o processamento e análise dos dados coletados, possibilitando a geração de informações relevantes para o usuário.
- **Compartilhamento de Dados:** A arquitetura permite o compartilhamento controlado de dados entre diferentes aplicações e profissionais da área de saúde. Isso possibilita uma visão mais completa do estado de saúde do usuário e facilita o acompanhamento e suporte por parte dos profissionais.
- **Customização e Personalização:** A arquitetura foi projetada para permitir a customização e personalização das aplicações de acordo com as necessidades e preferências dos usuários. Isso inclui a possibilidade de definir metas de saúde individuais, receber recomendações personalizadas e adaptar as interfaces das aplicações.

3.1.3 Aplicações além da Saúde

Embora a arquitetura tenha sido inicialmente concebida para atender às demandas do autocuidado em saúde, ela possui características que a tornam aplicável em outras áreas além da saúde. A flexibilidade e a interoperabilidade da arquitetura permitem a integração de dispositivos e jogos voltados para diferentes contextos, como educação, entretenimento e bem-estar geral.

Por exemplo, a arquitetura poderia ser utilizada para desenvolver jogos educacionais que utilizem dispositivos interativos para o ensino de matemática, ciências ou idiomas. Além disso, ela poderia ser aplicada no desenvolvimento de aplicações de entretenimento que promovam a interação física dos usuários.

Dessa forma, a arquitetura proposta possui um potencial de aplicação abrangente, podendo ser adaptada e utilizada em diferentes áreas, além de proporcionar novas oportunidades de desenvolvimento de jogos e dispositivos que promovam o autocuidado e a melhoria da qualidade de vida.

3.2 Visão Geral da Arquitetura

Esta seção apresenta uma visão geral da arquitetura proposta, destacando os dispositivos envolvidos, a comunicação entre eles e a disponibilização dos dados para os jogos sérios multimodais. A Figura 3.1 ilustra a estrutura geral da arquitetura.

Na camada 1 da arquitetura estão representados os dispositivos empregados na arquitetura proposta. Esses dispositivos abrangem tanto sensores e atuadores com tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE), quanto sensores e atuadores analógicos. A comunica-

Visão Geral da Arquitetura

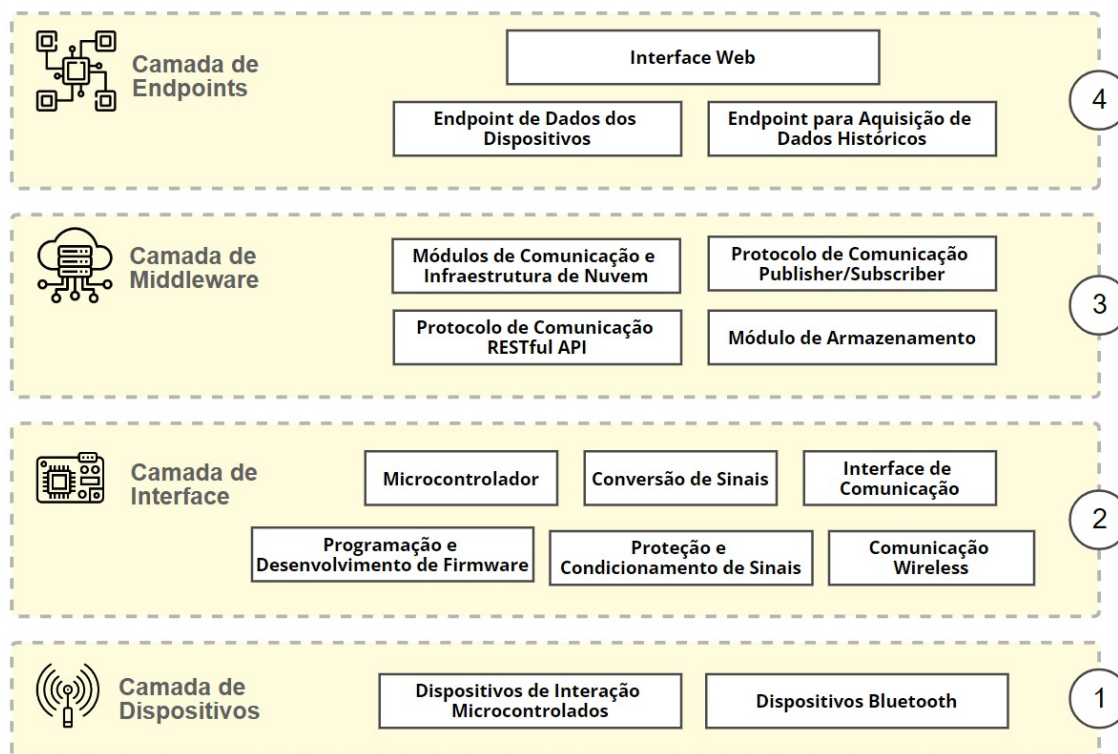


Figura 3.1: Visão geral da arquitetura proposta

ção desses dispositivos com a arquitetura é estabelecida por meio dos microcontroladores, que atuam como interfaces diretas para a aquisição e controle dos dados provenientes desses dispositivos.

Os dispositivos BLE capturam dados vitais dos pacientes, como frequência cardíaca, pressão arterial e outros dados de saúde relevantes. Eles estabelecem uma conexão sem fio com os computadores de placa única para transmitir os dados coletados. A escolha de computadores de placa única em vez de microcontroladores se deve à necessidade de maior capacidade de processamento e maior carga computacional para executar as tarefas de processamento e comunicação exigidas pela arquitetura.

Por outro lado, os sensores e atuadores analógicos são associados aos microcontroladores, permitindo a aquisição de informações adicionais, como temperatura, umidade, movimento e outras variáveis ambientais relevantes. Esses microcontroladores atuam como intermediários entre os sensores e atuadores analógicos e a arquitetura geral, permitindo a comunicação e o processamento dos dados gerados por esses dispositivos.

Nas camadas 2 e 3 da arquitetura estão os módulos responsáveis pelo recebimento e processamento dos dados na nuvem. Esses módulos desempenham um papel fundamental na arquitetura, sendo responsáveis por receber os dados provenientes dos dispositivos, classificá-los e armazená-los de acordo com a necessidade, especialmente

quando se trata de dados sensíveis que demandam cuidados adicionais.

A classificação e operação dos dados são realizadas por meio de programação em fluxo utilizando a plataforma Node-RED[1]. Essa abordagem permite uma gestão eficiente dos dados, possibilitando a aplicação de regras de classificação e processamento personalizadas.

A persistência dos dados é realizada por meio de armazenamento em banco de dados, onde os dados são relacionados à origem e aos registros de cadastro dos indivíduos previamente realizados. Essa associação é necessária para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados, além de permitir uma análise mais detalhada e individualizada dos dados coletados, aspecto que será abordado com mais detalhes nas seções subsequentes desta dissertação.

Na camada 4 da arquitetura é destacada a disponibilização dos dados para os jogos sérios. Os dados capturados e armazenados na nuvem são disponibilizados por meio de *endpoints* específicos, permitindo que os jogos tenham acesso aos dados em tempo real. Além disso, a arquitetura também permite o envio de comandos do jogo para atuadores, como caixas de som e iluminação, proporcionando uma interação bidirecional entre os jogos e a arquitetura.

Essa visão geral da arquitetura proporciona uma compreensão visual dos módulos envolvidos e das principais etapas de fluxo de dados, desde a aquisição pelos dispositivos até a disponibilização para os jogos sérios. A arquitetura detalhada será apresentada nas seções seguintes.

3.3 Arquitetura Detalhada

Nessa seção será realizada uma análise detalhada da arquitetura proposta, a qual consiste em um sistema multicamada que viabiliza a interação entre jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde. Essa arquitetura é dividida em quatro camadas distintas, cada uma com suas funcionalidades específicas e contribuições para a integração dos componentes. A camada de Dispositivos explorará a incorporação de diferentes categorias de componentes, incluindo os Dispositivos de Interação Microcontrolados e os Dispositivos Bluetooth. A primeira categoria abrange os elementos eletrônicos que, quando acoplados a microcontroladores, permitem a captura de dados contextuais, como temperatura, umidade, luz e dados biométricos. Os Dispositivos Bluetooth destacam-se por sua capacidade de estabelecer conexões sem fio, viabilizando a transmissão eficiente de informações entre dispositivos.

Na sequência, a camada de Interface será abordada, onde os Microcontroladores desempenham papel fundamental na integração dos dispositivos. Serão discutidos os requisitos necessários para a escolha adequada de um microcontrolador, bem como os

aspectos envolvidos na sua programação e desenvolvimento de firmware. Tópicos como a conversão de sinais analógicos para digitais, a proteção e condicionamento de sinais, a interface de comunicação e a programação que possibilita a tradução de dados brutos em informações interpretáveis serão apresentadas.

Avançando para a camada Middleware, os Módulos de Comunicação e a infraestrutura de nuvem, que atuam como intermediários na transferência e armazenamento de informações, serão explorados. Os protocolos de comunicação Publisher/Subscriber e RESTful API, que promovem a troca eficaz de dados entre os módulos envolvidos, serão discutidos. Além disso, o Módulo de Armazenamento, responsável por garantir a disponibilidade e acessibilidade das informações capturadas.

Por fim, na camada de Endpoints, as Interfaces Web que permitem a interação dos jogos e usuários com a arquitetura serão abordadas. Os endpoints dedicados à aquisição de dados dos dispositivos, assim como aqueles responsáveis pelo controle dos dispositivos atuadores, serão detalhados. Ao detalhar cada uma dessas camadas, esta seção oferecerá uma visão aprofundada da arquitetura proposta, destacando sua estrutura multicamada e sua capacidade de viabilizar a integração harmoniosa entre jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde.

3.3.1 Camada de Dispositivos

A seleção adequada das características dos dispositivos a serem integrados na arquitetura proposta é fundamental para garantir a interoperabilidade e o bom funcionamento do sistema. Dessa forma, foram estabelecidos critérios específicos para orientar a escolha dos dispositivos a serem utilizados. A seguir, são apresentados os critérios adotados:

1. **Comunicação Bluetooth:** Os dispositivos que utilizam comunicação Bluetooth devem seguir o padrão Bluetooth SIG. Essa padronização garante a compatibilidade e a interoperabilidade entre os dispositivos Bluetooth, permitindo uma comunicação eficiente e confiável entre eles.
2. **Sensores de Área Corporal e Ambiente:** Os dispositivos selecionados devem ser capazes de coletar dados relevantes sobre a área corporal do paciente, como frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura corporal, entre outros. Além disso, dispositivos de monitoramento do ambiente, como sensores de qualidade do ar, umidade e luminosidade, também podem ser integrados para fornecer informações adicionais sobre o contexto de saúde do paciente.
3. **Compatibilidade com Microcontroladores:** Os dispositivos devem ser compatíveis com microcontroladores que possuam requisitos de comunicação com a internet e capacidade interna de processamento. Essa compatibilidade é importante

para permitir a integração dos dispositivos na arquitetura proposta, possibilitando o envio dos dados coletados para o servidor e o processamento dos mesmos.

4. **Protocolo Leve de Comunicação:** Para garantir uma comunicação eficiente entre os dispositivos e o servidor, é preferível o uso de um protocolo de comunicação leve, como o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Esse protocolo é adequado para ambientes de baixa largura de banda e alta latência, sendo ideal para a transmissão de dados de sensores em tempo real.

Ao seguir esses critérios, é possível realizar a integração dos dispositivos na arquitetura proposta, promovendo a interoperabilidade e facilitando o desenvolvimento de jogos sérios multimodais.

3.3.2 Dispositivos de Interação Microcontrolados

Nesta seção, exploramos a categoria de componentes que denominamos Dispositivos de Interação Microcontrolados. Esses módulos representam dispositivos de entrada e saída rudimentares que, quando associados a um microcontrolador, desempenham funções específicas de interação com o ambiente ou o usuário.

Os dispositivos microcontrolados são componentes eletrônicos compactos projetados para aferir informações ambientais ou biométricas específicas, como temperatura, umidade, luminosidade e dados fisiológicos, como a frequência cardíaca. Entretanto, os valores de tensão registrados por esses sensores podem ser de interpretação complexa para os usuários. Nesse contexto, os microcontroladores desempenham um papel importante, atuando como mediadores entre os valores de tensão capturados e informações compreensíveis para os seres humanos.

Por meio de algoritmos e programação, os microcontroladores traduzem os dados brutos obtidos pelos sensores em resultados compreensíveis, como uma temperatura específica, um nível de luminosidade ou uma frequência cardíaca. Eles realizam a conversão desses valores de tensão em dados interpretáveis, o que facilita a compreensão e a interação dos usuários com as informações capturadas. Dessa forma, os dispositivos microcontrolados são peças essenciais na interface entre medições técnicas e a interpretação humana, desempenhando um papel fundamental na integração de jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde com os indivíduos que os utilizam.

Dentro dessa categoria, consideramos os sensores de temperatura, umidade, luz e oxímetro sanguíneo, entre outros. Esses sensores são projetados para capturar informações específicas do ambiente ou do usuário e podem ser facilmente conectados a microcontroladores para fornecer dados que enriquecem as interações nos sistemas em questão. A integração desses sensores pode ser fundamental para adaptar a experiência

do usuário em jogos sérios multimodais, oferecendo uma interação mais contextualizada e personalizada.

Além disso, temos a categoria de atuadores, que incluem LEDs, caixas de som e emissores infravermelhos. Esses componentes têm a capacidade de criar respostas visuais, auditivas e até mesmo interações remotas controladas por infravermelho. Quando associados a microcontroladores, esses atuadores podem ser acionados em resposta a eventos específicos nos jogos sérios multimodais ou em contextos de dispositivos de saúde, proporcionando um canal adicional de comunicação e feedback ao usuário.

Em suma, os Dispositivos de Interação Microcontrolados são elementos valiosos para a interação entre jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde. Eles possibilitam a obtenção e geração de informações contextuais que, quando integradas a sistemas mais amplos, enriquecem a experiência do usuário e permitem uma interação mais envolvente e eficaz.

Além dos dispositivos microcontrolados, outra categoria fundamental para a integração entre jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde é a dos dispositivos Bluetooth. Esses dispositivos apresentam a capacidade de estabelecer conexões sem fio com outros dispositivos, permitindo a troca de informações de forma eficiente e conveniente. O padrão Bluetooth Special Interest Group (SIG) atua estabelecendo protocolos e formatos padronizados para a comunicação entre dispositivos Bluetooth. A próxima seção fornecerá uma análise detalhada desses aspectos, explorando como o padrão SIG viabiliza a interação entre sistemas diversos e a coleta de dados em ambientes que envolvem jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde.

3.3.3 Dispositivos Bluetooth

No contexto da comunicação Bluetooth, a padronização e a generalização são elementos fundamentais para possibilitar a integração eficiente de diversos dispositivos em uma arquitetura. Para atender a essa necessidade, o Bluetooth Special Interest Group (SIG) estabelece um protocolo comum que define as características dos dispositivos Bluetooth registrados. Essas características descrevem e fornecem informações sobre os dados disponíveis no dispositivo, seguindo um conjunto de regras e atribuições específicas.

A fim de exemplificar esse processo, pode-se considerar um aferidor de pressão arterial como um dos dispositivos a ser integrado na arquitetura. É importante ressaltar que o exemplo do aferidor de pressão arterial é utilizado meramente para ilustrar o protocolo de comunicação do Bluetooth SIG, que busca generalizar e padronizar a comunicação entre dispositivos.

Nesse caso, duas características relevantes desse dispositivo são a *Blood Pressure Feature* (Característica de Pressão Arterial) e a *Blood Pressure Measurement* (Medição

de Pressão Arterial), que possuem números de atribuição específicos conhecidos como *Assigned Number*, sendo eles 0x2A49 e 0x2A35, respectivamente.

A característica *Blood Pressure Feature* (*Assigned Number*: 0x2A49) traz informações adicionais sobre a capacidade e as características do dispositivo de aferição de pressão arterial. Essa característica é configurada como apenas leitura (*Read*), o que permite a obtenção de informações relevantes sobre o dispositivo. Essas informações podem abranger unidades de medida suportadas, como mmHg ou kPa, suporte à detecção de pulso irregular, quantidade de leituras armazenadas e suporte a medições ambulatoriais. Cada fabricante pode implementar recursos adicionais ou personalizados nessa característica, de acordo com as necessidades específicas do dispositivo.

A característica *Blood Pressure Measurement* (*Assigned Number*: 0x2A35), por sua vez, é responsável por fornecer as medições de pressão arterial realizadas. Essa característica possui propriedades definidas como *Indicate*, o que significa que o dispositivo é capaz de enviar notificações (*indicações*) dos dados de medição de pressão arterial. Essas notificações permitem que outros dispositivos conectados sejam informados sobre as atualizações dos dados de pressão arterial. As informações contidas na *Blood Pressure Measurement* podem incluir a pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica, frequência cardíaca, *timestamp* da medição e outros dados relevantes necessários para uma análise adequada.

A rotina de aquisição de dados do dispositivo de pressão arterial pode ser ilustrada pelo fluxograma apresentado na Figura 3.2.

No início, ocorre o processo de descoberta e emparelhamento do dispositivo de pressão arterial com um dispositivo Bluetooth compatível. Em seguida, é estabelecida uma conexão entre os dispositivos. Após a conexão ser estabelecida, o dispositivo de pressão arterial realiza a medição da pressão arterial do usuário. Uma vez obtidos os dados de medição, eles são enviados como uma notificação para o dispositivo receptor, contendo informações como a pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica, frequência cardíaca e *timestamp* da medição.

No contexto do protocolo Bluetooth SIG, os números de atribuição (*assigned numbers*) são valores pré-definidos que identificam serviços, características e outros elementos no protocolo. Esses números são atribuídos pela Bluetooth Special Interest Group e são utilizados para garantir a interoperabilidade entre dispositivos Bluetooth. Por outro lado, os UUIDs (Universally Unique Identifiers) são identificadores únicos de 128 bits que são usados para identificar exclusivamente um serviço, uma característica ou qualquer outro elemento em uma rede Bluetooth. Os UUIDs são utilizados para localizar e acessar serviços e características específicas em dispositivos Bluetooth. Portanto, ao lidar com dispositivos Bluetooth, é necessário consultar a documentação do fabricante ou o SDK correspondente para obter os números de atribuição e UUIDs corretos referentes

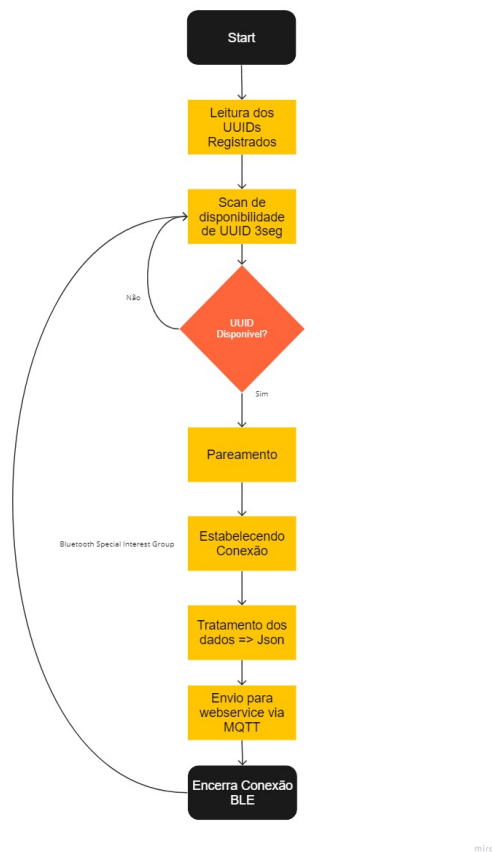


Figura 3.2: Fluxograma da rotina de aquisição de dados do dispositivo de pressão arterial. Fonte: elaborado pelo autor (2023)

aos serviços e características específicos que estão sendo utilizados.

Ao analisar as características disponíveis em um dispositivo Bluetooth registrado no SIG, é possível obter informações sobre os dados suportados e as funcionalidades oferecidas pelo dispositivo. Essas características são identificadas por números de atribuição específicos e podem possuir propriedades definidas, como leitura (*Read*), indicação (*Indicate*) ou notificação (*Notify*). Com base nessas informações, os desenvolvedores podem planejar e implementar a comunicação adequada com o dispositivo, utilizando os números de atribuição corretos e as propriedades correspondentes para acessar e interpretar os dados de pressão arterial disponíveis, ou de outras medições, de acordo com o contexto do dispositivo em questão.

3.3.4 Camada de Interface

Dentro da perspectiva da Camada de Interface, essa seção realizará uma análise minuciosa dos elementos centrais que a compõem. A Camada de Interface desempenha um papel fundamental na arquitetura, uma vez que incorpora os microcontroladores e suas interações fundamentais com os dispositivos e as demais camadas da arquitetura. Serão

abordados de maneira detalhada os requisitos indispensáveis para uma seleção adequada dos microcontroladores, bem como os processos de conversão de sinais analógicos para digitais, proteção, condicionamento de sinais e a estabelecimento de uma interface de comunicação eficaz. Além disso, será discutida a importância da programação e desenvolvimento de firmware na otimização das interações entre jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde.

A integração de dispositivos com microcontroladores é uma abordagem comum para conectar e controlar dispositivos externos em um sistema embarcado. Os microcontroladores são componentes eletrônicos que combinam uma unidade de processamento central (CPU), memória, periféricos e interfaces de comunicação em um único chip. Eles desempenham um papel fundamental na interação com o ambiente externo, permitindo a captura de dados de sensores e o controle de atuadores.

A integração de dispositivos externos a um microcontrolador pode ser feita por meio de entradas e saídas analógicas e digitais. As entradas analógicas permitem a leitura de sinais contínuos, enquanto as entradas digitais lidam com sinais discretos ou binários. Da mesma forma, as saídas analógicas podem gerar sinais contínuos, enquanto as saídas digitais fornecem níveis de tensão ou corrente específicos.

Requisitos Necessários

Para realizar a integração de dispositivos com microcontroladores por meio de entradas e saídas analógicas e digitais, são necessários os seguintes requisitos:

1. **Microcontrolador adequado:** Selecionar um microcontrolador com periféricos e interfaces compatíveis com os dispositivos externos a serem integrados. É importante considerar a quantidade de entradas e saídas analógicas e digitais disponíveis, bem como a resolução e a faixa de tensão suportadas pelas entradas analógicas.
2. **Conversão de sinais:** Para dispositivos que operam com sinais analógicos, como sensores, é necessário converter os sinais analógicos em digitais para que possam ser processados pelo microcontrolador. Isso pode ser realizado por meio de circuitos conversores analógico-digitais (ADC) embutidos no microcontrolador ou por conversores externos conectados às entradas analógicas.
3. **Proteção e condicionamento de sinais:** É importante considerar a proteção contra sobretensão ou correntes excessivas e o condicionamento dos sinais de entrada para garantir a correta leitura e interpretação dos dados pelos microcontroladores. Isso pode envolver o uso de circuitos de proteção, amplificadores operacionais e filtros para minimizar ruídos e interferências.
4. **Interface de comunicação:** Dependendo do tipo de dispositivo externo, pode ser necessário utilizar uma interface de comunicação adicional, como UART, I2C ou

SPI, para estabelecer a comunicação entre o microcontrolador e o dispositivo. Isso permitirá o envio e recebimento de dados, bem como o controle de dispositivos externos através do microcontrolador.

5. **Programação e desenvolvimento de firmware:** Para controlar e interagir com os dispositivos externos, é necessário desenvolver o firmware adequado para o microcontrolador. Isso envolve a programação do microcontrolador em uma linguagem de programação de baixo nível, como C ou Assembly, e o desenvolvimento dos algoritmos necessários para a leitura dos dados dos sensores e o controle dos atuadores.

Seleção do Microcontrolador

A primeira etapa é selecionar o microcontrolador adequado para o projeto. É importante considerar os requisitos específicos do sistema, como o número de entradas e saídas analógicas e digitais necessárias, a faixa de tensão suportada, a velocidade de processamento, a quantidade de memória disponível e as interfaces de comunicação requeridas. Além disso, é essencial verificar se o microcontrolador possui periféricos e recursos adicionais, como conversores analógico-digitais (ADC), timers, PWM (Pulse Width Modulation) e interfaces de comunicação compatíveis com os dispositivos externos a serem integrados.

Conversão de Sinais Analógicos para Digitais

Caso haja dispositivos externos que forneçam sinais analógicos, é necessário realizar a conversão desses sinais para o formato digital para que possam ser processados pelo microcontrolador. A maioria dos microcontroladores modernos possui conversores analógico-digitais (ADC) embutidos, que podem ser configurados para capturar os sinais analógicos e converter em valores digitais. A configuração do ADC envolve a definição da taxa de amostragem, resolução e referência de tensão, de acordo com as especificações dos sinais analógicos a serem convertidos.

Proteção e Condicionamento de Sinais

Para garantir a correta leitura dos sinais e evitar danos aos componentes do microcontrolador, é necessário fornecer proteção e condicionamento adequados aos sinais de entrada. Isso pode envolver o uso de circuitos de proteção contra sobretensão e sobrecorrente, bem como amplificadores operacionais para amplificar e ajustar a faixa de tensão dos sinais analógicos. Além disso, filtros podem ser utilizados para reduzir ruídos e interferências presentes nos sinais de entrada.

Interface de Comunicação

Dependendo dos dispositivos externos a serem integrados, pode ser necessário utilizar interfaces de comunicação adicionais para estabelecer a comunicação entre o microcontrolador e os dispositivos. Existem várias opções de interface, como UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), I2C (Inter-Integrated Circuit) e SPI (Serial Peripheral Interface), cada uma com suas características e protocolos específicos. A escolha da interface adequada dependerá das necessidades do sistema e da compatibilidade com os dispositivos externos.

Através da interface de comunicação selecionada, o microcontrolador pode enviar comandos e receber dados dos dispositivos externos, permitindo a troca de informações e o controle dos mesmos. A configuração e a comunicação por meio da interface requerem a definição dos parâmetros corretos, como velocidade de comunicação, endereços dos dispositivos, protocolos de comunicação e formatos de dados.

Comunicação Wireless

Para garantir a mobilidade e flexibilidade dos microcontroladores na arquitetura, é necessário que eles possuam suporte a comunicação wireless. Isso permite que os microcontroladores se conectem à arquitetura sem a necessidade de cabos ou conexões físicas diretas.

Existem várias tecnologias wireless que podem ser utilizadas, como Wi-Fi, Bluetooth ou Zigbee, dependendo dos requisitos específicos do sistema. A escolha adequada da tecnologia deve considerar a distância de comunicação, a taxa de transferência de dados, o consumo de energia e a compatibilidade com a infraestrutura da arquitetura.

Através da comunicação wireless, os microcontroladores podem enviar os dados coletados pelos sensores para a arquitetura de forma rápida e eficiente, possibilitando o processamento e armazenamento centralizados. Além disso, eles podem receber comandos e instruções da arquitetura para controlar os atuadores de forma remota.

Programação e Desenvolvimento de Firmware

A etapa final envolve o desenvolvimento do firmware necessário para a interação entre o microcontrolador e os dispositivos externos. Isso inclui a programação do microcontrolador utilizando uma linguagem de programação de baixo nível, como C ou Assembly, e o desenvolvimento dos algoritmos necessários para a leitura dos dados dos sensores e o controle dos atuadores.

A programação deve abranger a configuração dos periféricos do microcontrolador, a leitura dos sinais de entrada analógica e digital, a conversão de dados analógicos para digitais, a comunicação com os dispositivos externos por meio da interface selecio-

nada e o controle dos dispositivos de saída. É importante implementar um código eficiente e robusto, levando em consideração a otimização de recursos e a confiabilidade do sistema.

Integração com a Arquitetura

Os microcontroladores se comunicam com a arquitetura por meio de um broker MQTT, que atua como intermediário na troca de dados, permitindo o envio e recebimento de informações.

No processo de integração, os microcontroladores publicam os dados dos sensores nos tópicos correspondentes do broker. Esses tópicos são identificadores que indicam o tipo de dado ou a funcionalidade relacionada. Por sua vez, a arquitetura recebe esses dados publicados pelos microcontroladores, realiza o processamento necessário e armazena as informações de maneira apropriada.

Além disso, a arquitetura utiliza os tópicos de assinatura para enviar comandos e instruções específicas aos microcontroladores. Esses comandos são enviados pelo broker e são direcionados aos microcontroladores interessados nessa informação específica. Dessa forma, a arquitetura pode controlar os dispositivos conectados.

Essa comunicação bidirecional entre os microcontroladores e a arquitetura, intermediada pelo broker, possibilita uma integração dos dispositivos com a arquitetura. Através dessa abordagem, é possível realizar a troca de dados, o processamento das informações e o controle dos dispositivos conectados na arquitetura.

3.3.5 Camada Middleware

Nessa subseção, intitulada Camada Middleware, serão explorados os elementos que possibilitam a interconexão e o gerenciamento dos dados. Essa camada atua como uma camada intermediária entre as interfaces de hardware e os serviços oferecidos pela infraestrutura de nuvem. Serão analisados em detalhes os Módulos de Comunicação e Infraestrutura de Nuvem, com destaque para o Módulo de Comunicação. Além disso, serão investigados os protocolos de comunicação essenciais: o Protocolo de Comunicação Publisher/Subscriber e o Protocolo de Comunicação RESTful API. Por fim, o Módulo de Armazenamento, que desempenha um papel fundamental na coleta e retenção dos dados relevantes gerados pela interação entre jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde.

3.3.6 Módulos de Comunicação e Infraestrutura de Nuvem

Nesta subseção, apresentaremos a estrutura localizada em um servidor na nuvem, que abrange os módulos de comunicação e infraestrutura responsáveis por receber e

processar os dados provenientes da camada inferior da arquitetura. Esses módulos atuam como intermediários na comunicação entre os dispositivos e a plataforma geral, permitindo a integração de dispositivos que sigam os requisitos estabelecidos.

A arquitetura dessa camada é composta por diferentes serviços e tecnologias que desempenham funções específicas. A seguir, detalharemos cada um desses módulos, destacando suas características e funcionalidades.

O Módulo de Comunicação é responsável por receber os dados provenientes dos dispositivos, tanto por meio do broker MQTT como por outros caminhos alternativos, como REST API utilizando Flask. Essa abordagem visa generalizar a possibilidade de associar dispositivos que atendam aos requisitos estabelecidos na arquitetura. Dessa forma, é possível receber dados de diferentes fontes e protocolos, garantindo flexibilidade e escalabilidade.

No contexto do Módulo de Comunicação, o uso do Node-RED se destaca como uma plataforma de programação em fluxo que permite a configuração de fluxos de dados de maneira visual e intuitiva. Com o Node-RED, é possível realizar a programação em fluxo para classificação, filtragem e transformação dos dados recebidos, de acordo com as necessidades específicas da aplicação. Essa abordagem simplifica o desenvolvimento e facilita a manutenção dos fluxos de dados.

O Node-Red possibilita além da capacidade de programação em fluxo o uso de scripts em Java Script, onde é possível realizar diversas funcionalidades necessárias à arquitetura, como por exemplo: classificação dos dados que foram adquiridos provenientes dos sensores através da identificação dos dispositivos de origem, distribuição das informações relevantes dos sensores em tópicos exclusivos para cada sensor enviado, gravação dos dados em banco de dados, dentre outros.

Protocolo de Comunicação Publisher/Subscriber

A comunicação no protocolo MQTT baseada no modelo publisher/subscriber, que permeia a interação entre os microcontroladores e a arquitetura, apresenta uma configuração técnica elaborada e adaptável para viabilizar uma interação eficaz e ágil entre os dispositivos e a plataforma central. A estrutura dessa comunicação é constituída por componentes fundamentais que possibilitam a troca de informações e instruções de maneira eficiente e direcionada.

Primeiramente, os microcontroladores, posicionados na camada de interface, assumem o papel de publicadores de dados. Eles coletam e processam informações provenientes dos sensores, representando diversas grandezas, como temperatura, umidade, luminosidade e dados fisiológicos, por exemplo. Esses dados são encapsulados em tópicos específicos, que desempenham o papel de identificadores de categorias de informações. Cada tópico representa um canal de comunicação dedicado a um tipo particular de dado.

Na etapa seguinte, os dados recebidos são classificados e armazenados em tabelas específicas no banco de dados, de acordo com o tipo de informação que representam. Por exemplo, se um sensor envia dados de temperatura e umidade, essas informações são registradas na tabela designada para sensores de temperatura. Cada entrada na tabela inclui o identificador único do dispositivo, bem como os valores de temperatura e umidade, juntamente com a data e a hora da leitura.

Para permitir a incorporação de novos dispositivos do mesmo tipo já suportado pela arquitetura, todos os dispositivos enviam seus dados através de tópicos correspondentes aos seus tipos de sensores. Dentro do ambiente Node-Red, além de armazenar os dados no banco de dados, a arquitetura também os encaminha para um novo tópico específico, determinado com base no tipo de sensor.

Isso significa que os usuários, sejam programadores que desejam incluir um dispositivo em um jogo ou jogadores que desejam cadastrar novos dispositivos, precisam apenas conectar o dispositivo a uma rede Wi-Fi e usar o tópico associado ao dispositivo, que corresponde ao seu identificador único. Essa abordagem simplifica a integração e o uso de novos dispositivos na arquitetura.

Por outro lado, a arquitetura é composta por módulos de comunicação que atuam como intermediários entre os microcontroladores que publicam dados e os assinantes interessados nessas informações. Esses assinantes podem ser tanto outros microcontroladores, responsáveis por controlar os atuadores, quanto componentes na camada de endpoints, como interfaces web ou aplicativos móveis. A comunicação entre eles é estabelecida por meio de um servidor de mensagens que gerencia a troca de informações entre os diferentes componentes.

Quando os microcontroladores publicam dados, os assinantes inscritos nos tópicos correspondentes recebem essas informações em tempo real. Essa abordagem garante uma comunicação ágil e direcionada, possibilitando que os dispositivos interessados recebam apenas as informações relevantes para suas funcionalidades específicas.

A implementação desse modelo de comunicação requer a configuração dos tópicos, a criação de rotinas de publicação nos microcontroladores e a subscrição nos assinantes. Esse processo é facilitado por bibliotecas e frameworks específicos que simplificam a programação e a configuração da comunicação publisher/subscriber. Além disso, a estrutura modular desse protocolo permite a expansão da arquitetura de forma eficiente e simplificada, possibilitando a incorporação de novos dispositivos e funcionalidades.

Protocolo de Comunicação RESTful API

O protocolo de comunicação RESTful API desempenha troca de informações entre os dispositivos microcontrolados e a arquitetura. Ele adota um estilo arquitetural

REST (Representational State Transfer) que utiliza os princípios da web para permitir uma comunicação flexível, escalável e padronizada entre os componentes do sistema.

Na implementação desse protocolo, cada dispositivo microcontrolado é tratado como um recurso acessível por meio de URLs específicas. A comunicação ocorre por meio dos verbos HTTP (Hypertext Transfer Protocol), como GET, POST, PUT e DELETE, que representam operações de leitura, criação, atualização e exclusão de dados, respectivamente.

Os dispositivos microcontrolados podem solicitar a leitura de informações, enviar dados para a arquitetura ou atualizar informações existentes utilizando as operações HTTP apropriadas. A arquitetura responde às requisições com respostas estruturadas em formato JSON (JavaScript Object Notation), permitindo uma troca eficiente de dados estruturados.

A utilização do protocolo RESTful API proporciona uma interface uniforme e de fácil entendimento para a comunicação, simplificando a integração de novos dispositivos e a interoperabilidade entre diferentes partes da arquitetura. Além disso, o protocolo é amplamente suportado por bibliotecas e ferramentas de desenvolvimento, o que facilita a implementação nos dispositivos e na arquitetura como um todo.

Módulo de Armazenamento

A inclusão de um sistema de gerenciamento de banco de dados desempenhou um papel fundamental na arquitetura. Além de servir como repositório central para os dados dos sensores, desempenha um papel fundamental na coleta, armazenamento e posterior disponibilização dessas informações para consultas específicas. Essa capacidade de armazenamento é essencial, especialmente para cenários em que a utilização imediata dos dados não é necessária, mas a análise retrospectiva e a consulta aos dados são importantes.

No contexto do Salus Ciber Ludens (SCL), por exemplo, pode não ser imperativo que as leituras da pressão arterial sejam imediatamente aplicadas no jogo. No entanto, é valioso que o sistema registre se o jogador realizou essas medições ao longo de um período, como uma semana, e preserve os valores correspondentes.

Assim, a arquitetura não se limita apenas a distribuir dados em tempo real; ela também é capaz de armazenar essas informações para uso futuro. Esse banco de dados possibilita consultas detalhadas para diferentes cenários de aplicação, como monitoramento de saúde em jogos sérios.

O módulo de armazenamento é responsável por capturar, persistir e gerenciar os dados provenientes dos dispositivos e das interações do usuário. Para cumprir essa tarefa, utiliza um sistema de banco de dados relacional, que oferece uma estrutura organizada e eficiente para armazenar e recuperar informações.

A estrutura do banco de dados é projetada para acomodar as diferentes categorias de dados gerados pelos dispositivos microcontrolados e as interações dos usuários. Para tal, a base de dados é dividida em tabelas distintas, cada uma destinada a armazenar um tipo específico de informação. A seguir, são detalhadas algumas das tabelas que compõem o banco de dados:

1. **Tabela de Dados de Sensores:** Esta tabela registra as leituras de sensores realizadas pelos microcontroladores. Ela contém campos como o ID do dispositivo, o tipo de sensor, o valor da leitura, a data e a hora da medição. Cada entrada nessa tabela representa uma única leitura de um sensor específico em um determinado momento.
2. **Tabela de Comandos e Instruções:** Essa tabela armazena os comandos e instruções enviados pela arquitetura para os microcontroladores atuadores. Ela inclui campos como o ID do dispositivo, o tipo de atuador, o comando a ser executado e a data e a hora do envio. Cada registro nessa tabela representa um comando específico enviado para um atuador.
3. **Tabela de Configurações de Dispositivos:** Nessa tabela são registradas as configurações individuais de cada dispositivo, como seus parâmetros de funcionamento e características específicas. Isso permite a personalização e adaptação dos dispositivos.
4. **Tabela de Logs do Sistema:** A tabela de logs armazena informações de acompanhamento, como erros, falhas ou eventos importantes da arquitetura. Esses registros auxiliam na detecção e correção de problemas, além de fornecer insights sobre o funcionamento do sistema.

A estrutura de tabelas adotada pelo módulo de armazenamento garante a organização e a integridade dos dados, facilitando a consulta e a recuperação das informações quando necessário. A interação com o banco de dados é realizada por meio de consultas SQL (Structured Query Language), permitindo que os dados sejam acessados, atualizados e analisados.

3.3.7 Camada Endpoints

A camada de endpoints realiza a interação entre os jogos e os dispositivos microcontrolados, permitindo o acesso às informações coletadas pelos sensores e a atuação sobre os dispositivos atuadores.

Interface Web

A Interface Web é responsável por disponibilizar formulários e interfaces de usuário que permitem a inserção e o cadastro de dispositivos na arquitetura. Utilizando

tecnologias web, como HTML, CSS e JavaScript, é possível criar interfaces amigáveis e intuitivas para os usuários realizarem as operações de inserção e configuração dos dispositivos.

Por meio da Interface Web, os usuários podem adicionar novos dispositivos à arquitetura, fornecendo informações essenciais, como tipo de sensor, localização e nome. Esses detalhes são fundamentais para a identificação e organização dos dispositivos na plataforma.

No aspecto de configuração, as Interfaces Web oferecem opções para ajustar parâmetros e definir limites de operação dos dispositivos, personalizando a experiência conforme necessário. Além disso, essas interfaces podem fornecer alertas e notificações sobre eventos excepcionais.

Para garantir a segurança e privacidade, as Interfaces Web podem exigir autenticação e autorização para acesso. Isso assegura a interação apenas de usuários autorizados e protege informações sensíveis.

Resumindo, as Interfaces Web são elementos essenciais da arquitetura, permitindo interações diversificadas e eficientes entre usuários e dispositivos microcontrolados. Elas viabilizam o cadastro, monitoramento e controle de dispositivos, proporcionando uma experiência abrangente e integrada aos usuários.

Endpoint de Dados dos Dispositivos

Nesta subseção, é abordada a comunicação entre jogos sérios multimodais e a arquitetura por meio do modelo publisher/subscriber. Esse modelo realiza a integração dos dispositivos de sensores e atuadores às funcionalidades do jogo.

O jogo atua como um assinante de dados, recebendo informações sobre os sensores que deseja monitorar ou como publicador de comandos que pretende enviar para os atuadores. A arquitetura, por sua vez, age como um intermediário que encaminha essas informações para os destinatários adequados.

Para a troca de dados, são definidos tópicos específicos que atuam como canais de comunicação. Cada tópico está associado a um tipo de dado ou funcionalidade, permitindo uma organização das informações. Isso possibilita que o jogo e os dispositivos enviem e recebam dados de maneira precisa.

A estrutura da mensagem geralmente inclui os seguintes elementos:

- **Tipo de Dado:** Indica o tipo de informação sendo transmitida, como temperatura, umidade, frequência cardíaca, entre outros.
- **Valor:** O valor real do dado capturado pelo sensor.
- **Unidade:** A unidade de medida associada ao valor (por exemplo, Celsius para temperatura).

- **Timestamp:** O momento em que a leitura foi realizada, permitindo a rastreabilidade temporal dos dados.

Dessa forma, a arquitetura recebe a mensagem e a encaminha para os interessados inscritos no tópico específico. Esses interessados podem ser outros dispositivos, microcontroladores ou até mesmo partes do jogo que reagem aos dados coletados. Isso cria uma interação dinâmica entre o jogo e o ambiente real.

Em resumo, o modelo publisher/subscriber viabiliza uma comunicação organizada entre jogos sérios multimodais e a arquitetura, permitindo a troca de dados contextuais e possibilitando a integração de dispositivos de sensoriamento e atuação.

Endpoint para Aquisição de Dados Históricos

Nesta subseção, explora-se a capacidade dos jogos sérios multimodais em se comunicarem com a arquitetura por meio de uma RESTful API (Application Programming Interface). Essa interface provê uma maneira padronizada e flexível para que os jogos solicitem informações específicas armazenadas na base de dados da arquitetura.

A RESTful API possibilita aos jogos emitirem solicitações HTTP aos endpoints correspondentes da arquitetura, permitindo a recuperação e manipulação de dados. Os jogos utilizam os verbos HTTP, como GET, POST, PUT e DELETE, para efetuar operações específicas nos recursos disponíveis.

Por exemplo, considere um cenário em que um jogo necessita adquirir dados históricos de temperatura de um determinado intervalo de tempo. Para isso, o jogo envia uma solicitação GET para a RESTful API, incluindo parâmetros como a data de início e término do período desejado. A API processa a solicitação, recupera os dados correspondentes da base de dados e os envia de volta ao jogo.

Outra situação comum é a requisição de informações semanais sobre aferições arteriais. Nesse contexto, o jogo envia uma solicitação GET para a RESTful API, que acessa os registros pertinentes na base de dados e retorna os dados de aferição arterial ocorridos ao longo de cada semana.

A implementação da RESTful API envolve a definição de rotas e recursos, que mapeiam os caminhos das solicitações HTTP para funções específicas no servidor. Além disso, são empregados mecanismos de autenticação e autorização para garantir que apenas jogos autorizados possam acessar os recursos da arquitetura.

Em síntese, a RESTful API capacita os jogos sérios multimodais a interagirem de forma eficaz e padronizada com a arquitetura, viabilizando o acesso a informações armazenadas na base de dados. Através dessa abordagem, os jogos podem requisitar dados históricos, registros e outros conteúdos relevantes, enriquecendo a experiência dos usuários e ampliando as possibilidades de análises aprofundadas.

3.4 Considerações Finais

Neste capítulo, foi apresentada em detalhes a arquitetura proposta, destinada a integrar jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde. O capítulo teve início explorando a concepção e as funcionalidades da arquitetura, destacando sua aplicabilidade não apenas na área da saúde, mas também em outros contextos. Uma visão geral da arquitetura foi fornecida, delineando as principais camadas que a compõem.

A arquitetura detalhada foi apresentada com foco nas suas camadas essenciais. A Camada de Dispositivos abrangeu os dispositivos de interação microcontrolados e dispositivos Bluetooth, ressaltando sua contribuição na obtenção de dados relevantes e na interação com o ambiente. A Camada de Interface foi examinada, destacando os requisitos necessários para a seleção dos microcontroladores, a conversão de sinais analógicos, a proteção e condicionamento de sinais, a interface de comunicação, a comunicação sem fio e o desenvolvimento de firmware.

A Camada Middleware em análise detalhada dos módulos de comunicação e infraestrutura de nuvem. O Protocolo de Comunicação Publisher/Subscriber foi descrito, revelando como os dispositivos de sensores e atuadores se comunicam com a arquitetura. O Protocolo de Comunicação RESTful API também foi abordado, mostrando como os jogos podem solicitar dados armazenados no banco de dados por meio de endpoints específicos.

Finalmente, a Camada Endpoints foi explorada, enfatizando a importância das Interfaces Web para a interação dos usuários com a arquitetura. Os endpoints para a aquisição de dados dos dispositivos e para a obtenção de dados históricos foram detalhados, exemplificando como a arquitetura pode fornecer informações relevantes aos jogos e dispositivos de saúde.

O próximo capítulo abordará a validação da arquitetura proposta, com ênfase no detalhamento da implementação em cenários concretos. A utilização da arquitetura nesses contextos viabilizará a análise de sua eficácia na integração de jogos sérios multimodais e dispositivos de saúde. Essa análise será realizada com enfoque nos jogos desenvolvidos pelo grupo, o Salus Ciber Ludens e o Cicloexergame.

Validação da proposta de arquitetura

A fim de avaliar a eficácia da arquitetura proposta neste estudo, foram realizados testes de validação utilizando dois jogos: Salus Ciber Ludens e Cicloexergame. Nesta seção, apresentaremos as melhorias e integrações realizadas utilizando a arquitetura em cada jogo, evidenciando os benefícios proporcionados pela abordagem proposta. Todos os códigos desenvolvidos, materiais utilizados e demais fontes de informações estão disponibilizadas no GitHub [2].

No caso do Salus Ciber Ludens, o jogo inicialmente foi validado utilizando dados sensores simulados. No entanto, com a implementação da arquitetura proposta, foi possível realizar o uso efetivo de sensores físicos de forma transparente. Através dessa integração, os sensores foram incorporados ao jogo, fornecendo informações precisas sobre o usuário. Isso permitiu que o jogo processasse os dados coletados e fornecesse feedbacks personalizados ao usuário, com o objetivo de melhorar o autocuidado.

No Cicloexergame, o jogo inicialmente estabelecia comunicação direta com sensores físicos, inclusive por meio de cabos. Com a arquitetura proposta, houve um avanço significativo ao permitir a integração de novos sensores de forma distribuída e transparente. Além disso, foi possível receber os dados de sensores utilizados no Salus Ciber Ludens, consolidando a interconectividade entre os jogos. Essa integração bem-sucedida foi viabilizada pelo design de uso fornecido aos desenvolvedores, que possibilitou a adaptação e comunicação entre os diferentes dispositivos e jogos da arquitetura. Dessa forma, o Cicloexergame se beneficiou tanto das melhorias na aquisição de dados quanto da experiência adquirida no desenvolvimento do Salus Ciber Ludens.

Essas integrações bem-sucedidas entre a arquitetura proposta, os sensores e os jogos evidenciam os benefícios da abordagem proposta. A arquitetura oferece uma solução eficiente para a coleta e utilização de dados de sensores de forma transparente, permitindo a criação de experiências de jogo aprimoradas e personalizadas. As próximas seções descrevem a metodologia adotada para a validação da arquitetura em cada jogo, bem como os resultados obtidos e suas respectivas análises.

4.1 Metodologia de Validação

Esta seção apresenta a metodologia adotada para validar a arquitetura proposta neste estudo, com foco nos jogos Salus Ciber Ludens e Cicloexergame.

4.1.1 Definição dos Objetivos de Validação

Inicialmente, foram estabelecidos os objetivos de validação para cada jogo, levando em consideração as particularidades e propósitos específicos de cada um. No caso do Salus Ciber Ludens, o objetivo principal foi verificar a eficácia da arquitetura em integrar de forma transparente os sensores reconhecidos pela comunidade científica da saúde, a fim de fornecer feedbacks personalizados ao usuário. Já para o Cicloexergame, o objetivo foi avaliar a adaptabilidade da arquitetura a novos sensores desenvolvidos especificamente para este jogo. Esses objetivos foram definidos com base nas contribuições esperadas desta pesquisa e nas demandas identificadas na literatura relacionada.

4.1.2 Procedimentos de Coleta de Dados

No contexto do Salus Ciber Ludens, que já contava com uma estrutura de simulação de dados de sensores, foi necessário integrar sensores físicos que cumprissem os requisitos de saúde estabelecidos. Além dessa integração, houve o desenvolvimento de dispositivos atuadores, juntamente com as respectivas estruturas de hardware e software específicas. Essa abordagem permitiu adquirir os dados dos sensores com precisão, bem como possibilitou interações através dos atuadores.

No caso do Cicloexergame, foram desenvolvidos novos sensores capazes de capturar as mesmas informações coletadas anteriormente. Vale ressaltar que esses sensores desenvolvidos não se limitam exclusivamente ao Cicloexergame, mas podem ser utilizados por outros jogos que adotem a arquitetura proposta. Essa flexibilidade exemplifica a proposta central da arquitetura, que visa reutilizar tanto os sensores quanto os dados em diferentes contextos e jogos. Nesse contexto, o Cicloexergame pôde aproveitar os sensores previamente empregados no Salus Ciber Ludens, enfatizando a interoperabilidade e a intercambiabilidade entre os jogos.

A principal ideia por trás da arquitetura proposta é viabilizar o uso de sensores não apenas de forma exclusiva para um jogo específico, mas também permitir a reutilização desses sensores e dados em diferentes contextos e jogos.

4.1.3 Análise e Avaliação dos Resultados

A avaliação da arquitetura proposta para integração de sensores nos jogos SCL e CicloExergame foi realizada por meio de uma abordagem interna de testes. Devido à

natureza do projeto e aos recursos disponíveis, optou-se por conduzir as avaliações com membros internos da equipe de desenvolvimento e colaboradores próximos ao projeto.

Essa abordagem interna proporcionou a oportunidade de realizar testes controlados e iterativos ao longo do processo de desenvolvimento, permitindo ajustes e refinamentos contínuos na arquitetura, bem como a exploração das possibilidades de interação com os jogos. Os participantes selecionados possuíam conhecimento prévio sobre os objetivos e funcionamento dos jogos, além de familiaridade com o contexto do projeto.

Para as avaliações, foram definidos cenários específicos para cada jogo, a fim de explorar diferentes aspectos da arquitetura e dos sensores em suas respectivas mecânicas de interação. Durante as sessões de teste, foram coletados dados dos jogadores e feedbacks sobre a experiência de uso. Essas informações foram registradas e analisadas para a compreensão do impacto da arquitetura nos jogos.

A análise dos resultados foi conduzida de forma qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa envolveu a interpretação dos feedbacks, buscando identificar padrões de comportamento e percepções dos participantes em relação à interação com a arquitetura e aos jogos. Já a análise quantitativa utilizou métricas específicas para avaliar o desempenho dos dispositivos associados à arquitetura, considerando aspectos como tempo de resposta, fidelidade dos dados e taxa de falhas.

As métricas quantitativas foram selecionadas com base em estudos anteriores e práticas estabelecidas na área de jogos sérios e tecnologias interativas. O tempo de resposta foi considerado para medir a agilidade com que os dispositivos captam e transmitem dados relevantes para o jogo, visando proporcionar uma experiência de jogo mais fluida e imersiva. A fidelidade dos dados foi avaliada para verificar a precisão das informações coletadas pelos sensores e sua correspondência com a realidade, assegurando uma experiência autêntica para os jogadores. Por fim, a taxa de falhas foi medida para identificar problemas de conectividade ou estabilidade que pudessem afetar negativamente a experiência do jogador, garantindo o funcionamento contínuo e confiável dos dispositivos durante o jogo.

É importante destacar que a limitação da avaliação interna pode implicar em um escopo reduzido de opiniões e perspectivas. Contudo, o foco principal da avaliação foi verificar o funcionamento efetivo da arquitetura e sua capacidade de promover interações imersivas e envolventes nos jogos. Os resultados obtidos com os testes internos proporcionaram um embasamento inicial para a aplicação da arquitetura em futuros testes mais abrangentes, envolvendo um público mais diversificado.

Além disso, para avaliar a usabilidade e a experiência do usuário em relação à arquitetura proposta, foi utilizado o *System Usability Scale* (SUS) [7]. Esse questionário tem sido amplamente utilizado em estudos acadêmicos e profissionais para medir a usabilidade de sistemas interativos, incluindo jogos sérios e tecnologias de realidade

virtual.

O SUS é um questionário padronizado composto por 10 itens, com uma escala de 5 pontos para cada item. Ele foi projetado para ser de fácil aplicação, permitindo que os usuários forneçam respostas rápidas e diretas. Os itens do questionário abrangem aspectos como facilidade de uso, eficiência, aprendizado do sistema e satisfação geral do usuário.

Uma das principais vantagens de usar o SUS é sua simplicidade e eficácia na coleta de dados sobre a usabilidade do sistema. Com apenas 10 itens, o questionário pode ser aplicado em um curto período de tempo, o que é especialmente útil para avaliações em que o tempo dos participantes é limitado.

Além disso, o SUS fornece uma pontuação geral de usabilidade, o que facilita a comparação entre diferentes sistemas ou versões do mesmo sistema ao longo do tempo. Essa pontuação única é derivada do conjunto de respostas dos usuários e representa uma medida geral da usabilidade do sistema avaliado.

No contexto da arquitetura proposta neste trabalho, a aplicação do SUS permite avaliar a usabilidade do cicloexergame e do SCL, bem como a integração dos dispositivos associados à arquitetura. Os resultados obtidos com o SUS serão analisados e interpretados para verificar o grau de facilidade de uso, satisfação e eficácia dos jogos sérios desenvolvidos com base nessa arquitetura. Essa abordagem de avaliação contribuirá para a validação da efetividade da arquitetura e para possíveis melhorias em futuras implementações.

4.2 Validação da Arquitetura com o Salus Ciber Ludens

Esta seção descreve a validação da arquitetura proposta, utilizando o jogo Salus Ciber Ludens como caso de uso. O objetivo principal dessa validação é verificar a eficácia da arquitetura em integrar de forma transparente os sensores reconhecidos pela comunidade científica da saúde e fornecer feedbacks personalizados aos usuários. Além disso, será detalhado o desenvolvimento da estrutura necessária para a integração dos sensores e atuadores, incluindo a construção, programação e implementação.

4.2.1 Objetivos de Validação

Os objetivos de validação estabelecidos para o Salus Ciber Ludens são os seguintes:

1. Verificar a integração transparente dos sensores reconhecidos pela comunidade científica da saúde na arquitetura proposta.
2. Avaliar a precisão e a confiabilidade da aquisição de dados dos sensores no contexto do jogo.

3. Analisar a efetividade dos feedbacks personalizados fornecidos aos usuários com base nos dados dos sensores.
4. Detalhar o desenvolvimento da estrutura necessária para a integração dos sensores e atuadores, incluindo a construção, programação e implementação.

4.2.2 Procedimentos de Validação

Para realizar a validação do Salus Ciber Ludens, os seguintes procedimentos foram adotados:

1. Identificação e seleção dos dispositivos adequados ao contexto do jogo.
2. Desenvolvimento da estrutura física e dos componentes de hardware para a integração dos dispositivos selecionados.
3. Implementação das camadas de software para permitir a interação e comunicação efetiva entre os dispositivos e o jogo.
4. Realização de testes para verificar a funcionalidade e a efetividade dos dispositivos integrados no contexto do Salus Ciber Ludens.

Identificação e seleção dos dispositivos

A identificação e escolha dos dispositivos para integração no Salus Ciber Ludens (SCL) foram conduzidas por meio de uma pesquisa criteriosa com o objetivo de selecionar sensores confiáveis e adequados para a coleta dos sinais vitais necessários. A validação dos dispositivos foi realizada em parceria com membros da Liga Acadêmica de Hipertensão Arterial, garantindo a qualidade e a precisão das medições.

Considerando a importância dos sinais vitais, como frequência cardíaca e pressão arterial, foram estabelecidos requisitos rigorosos em relação à confiabilidade das medições. Nesse sentido, o dispositivo médico de Monitorização Residencial da Pressão Arterial (MRPA) escolhido foi o modelo OMRON-9200T, o qual apresenta certificação da ANVISA e capacidade de comunicação via Bluetooth. A seleção desse dispositivo baseou-se não apenas em sua qualidade reconhecida, mas também na confiabilidade dos membros da Liga Acadêmica em relação ao fabricante do MRPA.

Além da monitorização da pressão arterial, a coleta de outras informações relevantes para a saúde do usuário foi considerada. Com isso, optou-se por incluir a Balança Digital de Bioimpedância (BDB) OMRON HBF-222T, também fabricada pela OMRON. Essa balança não apenas realiza a medição do peso corporal, mas também fornece dados adicionais, como a medição de gordura corporal, gordura visceral, músculos esqueléticos, metabolismo basal e Índice de Massa Corporal (IMC). Essas informações complementares são fundamentais para uma análise mais abrangente da condição de saúde do usuário.

A escolha dos dispositivos OMROM-9200T e OMRON HBF-222T para integração no SCL foi embasada na sua comprovada qualidade, confiabilidade das medições e capacidade de comunicação por meio da tecnologia Bluetooth. Esses dispositivos fornecem dados precisos e relevantes para o monitoramento da saúde do usuário.

No contexto do Salus Ciber Ludens, um jogo voltado para o autocuidado e monitoramento remoto de pacientes, é fundamental assegurar a interação efetiva com os usuários, e os dispositivos atuadores são uma das formas utilizadas para alcançar esse objetivo. Levando em consideração essa necessidade, foi realizada uma cuidadosa seleção e integração de dispositivos atuadores, como fitas de iluminação LED e sinalização sonora, para proporcionar uma experiência imersiva e interativa aos usuários.

Desenvolvimento da estrutura física e dos componentes de hardware

No processo de integração dos dispositivos selecionados com o Salus Ciber Ludens, foram desenvolvidos dois módulos distintos. O primeiro módulo teve foco na integração com os dispositivos que se comunicam através do protocolo Bluetooth. Esse módulo foi responsável por estabelecer a conexão entre os dispositivos de saúde e o jogo, permitindo a transmissão dos dados coletados.

O segundo módulo foi especialmente desenvolvido para integrar os dispositivos que utilizam sensores e atuadores analógicos, os quais estão diretamente associados aos microcontroladores. Esses dispositivos desempenham um papel fundamental no Salus Ciber Ludens, pois permitem não apenas a interação física dos jogadores, mas também a interação com o ambiente em que o indivíduo está inserido. Dessa forma, o segundo módulo proporciona uma integração mais abrangente, tornando possível uma experiência mais imersiva e envolvente para os usuários durante o jogo.

A criação desses dois módulos distintos possibilitou uma integração eficiente e precisa dos dispositivos selecionados com o Salus Ciber Ludens. Cada módulo foi desenvolvido levando em consideração as características e requisitos específicos dos dispositivos envolvidos.

A primeira fase consistiu na identificação e seleção dos dispositivos adequados ao contexto do SCL. Foram escolhidos dispositivos certificados de Monitorização Residencial da Pressão Arterial (MRPA) e Balança Digital de Bioimpedância (BDB), os quais adotam o protocolo de comunicação Bluetooth SIG.

O Raspberry Pi 3, selecionado como componente de integração do primeiro módulo de comunicação, desempenha um papel fundamental na viabilização da leitura dos dispositivos por meio da tecnologia Bluetooth. Trata-se de um computador de placa única que oferece recursos e funcionalidades essenciais para o projeto.

A escolha do Raspberry Pi 3 baseou-se em suas capacidades de processamento e sua compatibilidade com o pareamento Bluetooth, necessárias para estabelecer a comu-

nicação entre os dispositivos selecionados. Sua capacidade de processamento é adequada para lidar com os dados provenientes dos dispositivos de saúde, garantindo uma interação precisa e fluida com o jogo Salus Ciber Ludens.

Além disso, o Raspberry Pi 3 foi selecionado para desempenhar o papel de atuador, permitindo o controle do som ambiente durante o jogo. Sua saída de áudio do tipo P2 facilita a conexão com diferentes modelos de caixas de som, proporcionando uma experiência sonora para os usuários.

A presença de uma saída de áudio versátil no Raspberry Pi 3 permite a integração com componentes externos de áudio, tornando possível o controle e ajuste do som de acordo com as interações do jogo. Essa funcionalidade contribui para a criação de uma atmosfera complementando a experiência dos jogadores.

No segundo módulo de integração, foi escolhido o microcontrolador ESP8266, especificamente o modelo Wemos-D1, devido às suas características e funcionalidades relevantes para o projeto em questão. A escolha desse microcontrolador se baseou em diversos fatores técnicos que o tornaram adequado para a integração dos dispositivos analógicos.

Primeiramente, a presença de uma entrada USB no microcontrolador Wemos-D1 foi um aspecto relevante para a seleção, uma vez que essa interface facilita a gravação do firmware no dispositivo. Essa característica é fundamental para permitir o carregamento do código desenvolvido para controle e interação com os dispositivos analógicos, garantindo flexibilidade e agilidade no processo de programação.

Além disso, o Wemos-D1 possui saídas analógicas que permitiram o controle preciso de uma placa desenvolvida pelo autor do projeto, destinada ao gerenciamento da fita LED. Essas saídas analógicas viabilizam a manipulação dos componentes eletrônicos utilizados, como transistores bipolares, responsáveis pelo controle da cor da fita LED. Com isso, é possível criar efeitos de iluminação personalizados, sincronizados com as interações do jogo.

Outro aspecto relevante é a comunicação wireless do microcontrolador na faixa de 2.4GHz. Essa característica elimina a necessidade de cabos de comunicação para a integração com a arquitetura proposta, tornando a instalação mais flexível e prática. A comunicação sem fio permite que o microcontrolador seja posicionado estrategicamente, promovendo a interação com os dispositivos.

Além disso, o Wemos-D1 possui a capacidade de comunicação via protocolo MQTT. Essa funcionalidade é essencial para a integração com a arquitetura proposta, uma vez que o protocolo MQTT é amplamente utilizado em aplicações IoT, permitindo a troca de mensagens entre dispositivos.

Em relação ao processamento interno e à capacidade de memória, o microcontrolador ESP8266 Wemos-D1 apresenta recursos suficientes para suportar o desenvolvi-

mento proposto. Isso garante que o dispositivo seja capaz de executar as tarefas exigidas, como o processamento dos dados dos sensores analógicos e o controle dos atuadores de forma adequada.

Dispositivos Desenvolvidos

Como parte da arquitetura proposta, foram desenvolvidos diversos sensores e atuadores utilizando microcontroladores, incluindo o sensor DHT11 para medição de temperatura e umidade, e uma fita LED RGB para iluminação personalizada. Cada dispositivo foi cuidadosamente projetado para atender aos requisitos específicos dos jogos sérios, proporcionando uma interação rica e imersiva para os usuários.

Os códigos fornecidos neste contexto são esboço Arduino escrito em C++ para os microcontroladores ESP8266. Essa programação permite a interação com os dispositivos desenvolvidos, coletando os dados do sensor DHT11 e controlando a iluminação da fita LED RGB. Além disso, é responsável por enviar esses dados e comandos para um broker MQTT, onde ficam disponíveis para processamento ou visualização em outras aplicações da arquitetura.

A escolha do microcontrolador ESP8266 para essa tarefa foi estratégica, pois ele oferece a combinação ideal de baixo consumo de energia e recursos de comunicação sem fio, essenciais para dispositivos IoT como os sensores e atuadores desenvolvidos. Através dessa integração eficiente e flexível, a arquitetura proporciona aos jogos sérios multimodais uma interação mais realista e adaptada ao contexto de cada usuário, enriquecendo significativamente a experiência de jogo.

Sensor para monitoramento climático: é um componente essencial do sistema desenvolvido, capaz de coletar dados importantes sobre a temperatura e umidade do ambiente em que está inserido. Neste trabalho, foram desenvolvidos sensores de temperatura e umidade utilizando o microcontrolador ESP8266 e o sensor DHT11.

A Figura 4.1 apresenta o esquemático do circuito elétrico utilizado, destacando o sensor DHT11 e suas respectivas ligações com o microcontrolador ESP8266. As conexões elétricas específicas permitem a comunicação eficiente entre o sensor e o microcontrolador, garantindo a coleta precisa de dados climáticos.

O funcionamento detalhado e a estrutura do código para a integração desses sensores e atuadores à arquitetura serão apresentados a seguir. Serão explicadas as bibliotecas utilizadas, as constantes e macros definidas, bem como as funções implementadas para realizar a leitura dos sensores, a conexão com a rede Wi-Fi e o envio dos dados para um broker MQTT.

O código fornecido é um esboço Arduino escrito em C++ para o microcontrolador ESP8266, que foi desenvolvido para integrar um sensor DHT11 à arquitetura proposta. O objetivo principal desse programa é ler os valores de temperatura e umidade do

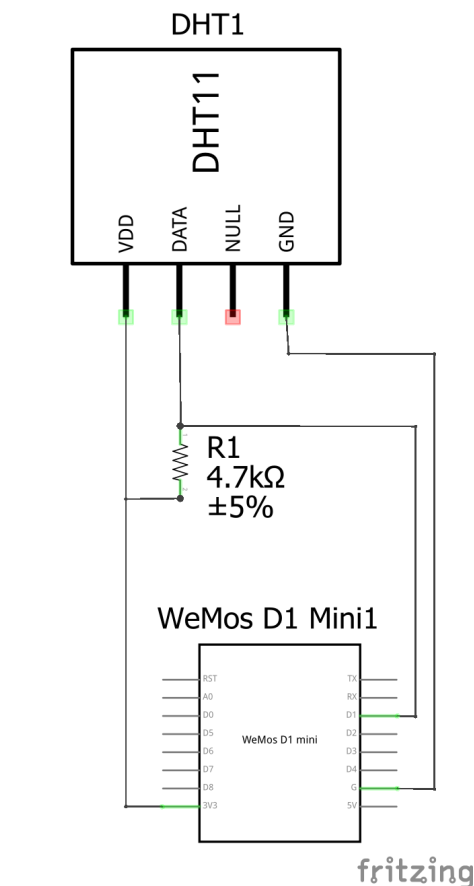


Figura 4.1: Esquemático do circuito elétrico do sensor de monitoramento climático com destaque para o sensor DHT11 e suas ligações com o microcontrolador.

sensor DHT11 e enviá-los, juntamente com um carimbo de data e hora, para um broker MQTT. Esses dados ficam, então, disponíveis para processamento ou visualização adicional na arquitetura.

O esboço utiliza várias bibliotecas para suportar diferentes funcionalidades, como a conexão com a rede Wi-Fi, a interação com MQTT, a leitura dos valores do sensor DHT11 e a obtenção da hora atual usando o NTP.

No código, são definidas macros para configurar os pinos do sensor DHT11 e o tipo de sensor utilizado (DHT11). Além disso, são especificados o nome da rede Wi-Fi (SSID), a senha, o endereço do broker MQTT e outras constantes relevantes.

As variáveis globais são utilizadas para armazenar os valores de temperatura e umidade, assim como um código único do sensor (codSensor). Também são utilizadas variáveis relacionadas à hora atual, obtida por meio do servidor NTP (ntpServerName), e outras variáveis relacionadas à configuração MQTT.

A função de configuração (Setup) é executada uma vez quando o microcontrolador é inicializado. Ela inicializa a comunicação serial, o sensor DHT11 e estabelece a conexão Wi-Fi. Além disso, configura o cliente NTP e inicia a escuta de pacotes UDP

recebidos.

A função de loop é executada continuamente após a função de configuração. Primeiro, verifica-se se a hora do NTP está disponível e, em seguida, atualiza-se o display do relógio digital. A função também garante que as conexões Wi-Fi e MQTT sejam mantidas por meio da função `manterConexoes`. Em seguida, os dados de temperatura e umidade são coletados do sensor DHT11, um carimbo de data e hora é gerado e os dados são publicados no broker MQTT. Um atraso de 10 segundos é inserido para controlar a frequência de transmissão dos dados.

No código, também há funções de utilidade para exibir a hora atual no monitor serial e gerar um carimbo de data e hora no formato AAAA/MM/DD HH:MM:SS.

As funções `conectaWiFi()` e `conectaMQTT()` tratam das conexões Wi-Fi e MQTT, respectivamente, garantindo que a conexão seja estabelecida e, caso seja perdida, que ela seja reestabelecida.

Por fim, a função `sendNTPpacket()` constrói e envia uma requisição NTP para o servidor NTP especificado (`ntpServerName`) para obter a hora atual.

Em resumo, o código apresentado permite que o microcontrolador ESP8266 integre o sensor DHT11 à arquitetura proposta, coletando os valores de temperatura e umidade e sincronizando a hora, viabilizando a publicação desses dados em um broker MQTT. Essa funcionalidade fornece a base para a criação de um sistema de monitoramento climático ou qualquer aplicativo que requeira leituras de temperatura e umidade via MQTT, contribuindo assim para a eficiência e funcionalidade da arquitetura em aplicações práticas.

Atuador Fita LED RGB: O Atuador Fita LED RGB é um dispositivo desenvolvido para o microcontrolador ESP8266 com o propósito de controlar uma fita de LED RGB (*Red, Green, Blue*) de forma dinâmica e interativa. Através de uma conexão Wi-Fi e o uso do protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), o atuador recebe comandos de controle de cores e intensidades de iluminação, possibilitando a exibição de uma ampla variedade de cores e efeitos luminosos.

A fita LED RGB consiste em uma série de LEDs dispostos em sequência, onde cada LED é composto por três chips de cores distintas: vermelho (R), verde (G) e azul (B). A combinação controlada das intensidades dessas três cores primárias permite a obtenção de uma vasta gama de cores, incluindo tons intermediários e variações luminosas. O circuito elétrico desenvolvido, que inclui o uso de transistores de potência, desempenha um papel fundamental no controle eficiente das fitas LEDs, especialmente aquelas de alto consumo que podem demandar correntes elevadas.

O esquemático elétrico do circuito de potência é apresentado na Figura 4.2, evidenciando o uso dos transistores de potência e suas respectivas ligações com o microcontrolador ESP8266. A necessidade de utilizar esses transistores se deve à capacidade

de controle de correntes mais elevadas, uma vez que as fitas LED RGB de alto consumo podem exigir uma corrente significativa para operar em plena intensidade.

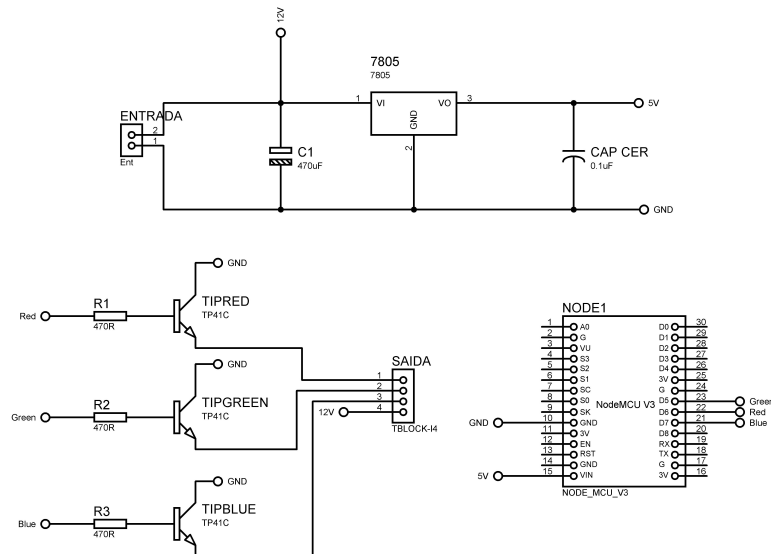


Figura 4.2: Esquemático elétrico do circuito de potência para controle da fita LED RGB, destacando o uso dos transistores de potência e suas ligações com o microcontrolador.

Além do esquemático elétrico, a Figura 4.3 apresenta o layout 3D da placa construída. Esse layout mostra a disposição dos componentes e suas conexões de forma mais visual e detalhada. A utilização de transistores de potência proporciona algumas vantagens notáveis nesse circuito:

- **Capacidade de Controle de Corrente:** Os transistores de potência, em conjunto com outros componentes de suporte, permitem controlar correntes mais elevadas, tornando possível o acionamento das fitas LED RGB de alto consumo. Isso evita o risco de sobrecarga e danos ao microcontrolador, garantindo maior confiabilidade e segurança do sistema.
- **Versatilidade de Uso:** A utilização de transistores de potência confere versatilidade ao circuito, permitindo o controle de diferentes tipos de fitas LED RGB, independentemente de sua corrente de operação. Isso possibilita a adaptação do sistema para atender às necessidades específicas de cada aplicação, ampliando suas possibilidades de uso em outros contextos.
- **Eficiência Energética:** O uso de transistores de potência proporciona uma maior eficiência energética ao circuito, uma vez que a corrente é regulada de acordo com a demanda das fitas LED RGB. Dessa forma, evita-se o desperdício de energia elétrica e contribui-se para uma maior autonomia do sistema em dispositivos alimentados por baterias.

Portanto, o circuito de potência desenvolvido para controle da fita LED RGB com transistores de potência é uma solução eficiente e confiável para integrar esse atuador à arquitetura dos jogos SCL e CicloExergame. A capacidade de controle de corrente, a versatilidade de uso e a eficiência energética são características essenciais que permitem a operação adequada das fitas LED RGB de alto consumo, enriquecendo a experiência dos jogadores e proporcionando uma iluminação personalizada e envolvente durante a interação com os jogos.

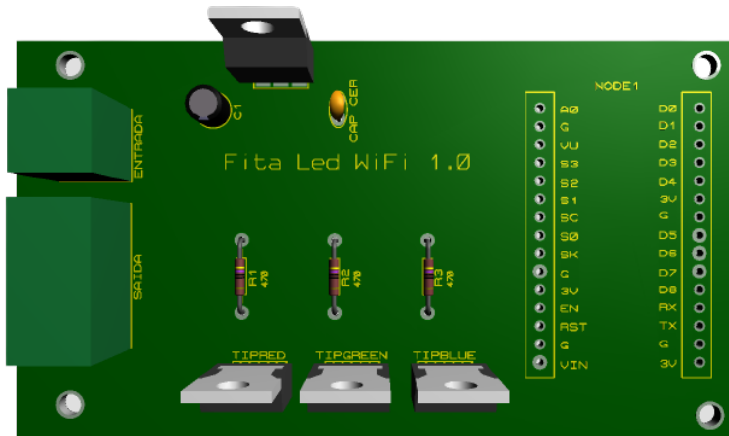


Figura 4.3: Layout 3D da placa construída para controle da fita LED RGB.

A Atuador Fita LED RGB é capaz de gerar efeitos de iluminação personalizados, como mudanças suaves de cores, transições rápidas e pulsantes, tornando-se uma opção versátil para aplicações de iluminação interativa e cenográfica.

A seguir, serão apresentados os detalhes do código responsável pelo controle desse atuador, demonstrando como ele é fundamental para a criação de aplicações inovadoras em diversos campos, como entretenimento, design de interiores, arte e automação residencial.

O código desenvolvido para o microcontrolador ESP8266 tem como objetivo controlar um LED RGB com base nos dados recebidos de um broker MQTT. Esse broker atua como intermediário, permitindo a comunicação entre dispositivos conectados à mesma rede, seguindo o padrão publish-subscribe.

As principais partes do código incluem a importação das bibliotecas `ESP8266WiFi.h` e `PubSubClient.h`, que habilitam a comunicação Wi-Fi e MQTT, respectivamente. Além disso, são definidos os pinos responsáveis pelo controle dos LEDs vermelho, verde e azul do LED RGB como `BLUEPIN` (13), `REDPIN` (12) e `GREENPIN` (14), correspondentes aos pinos D7, D6 e D5 do NodeMCU, respectivamente.

Para armazenar as informações das cores, utiliza-se o vetor `rgb[2]`, que contém três elementos representando os valores de intensidade dos LEDs vermelho, verde e azul. Esses valores são utilizados para determinar a cor que será exibida pelo LED RGB.

A configuração do Wi-Fi é realizada através das credenciais SSID e PASSWORD, que definem a rede Wi-Fi à qual o ESP8266 se conectará. Além disso, é criado um objeto cliente WiFiClient wifiClient; para a comunicação Wi-Fi. A configuração do broker MQTT é feita através da URL BROKERMQTT e da definição da porta BROKERPORT.

O programa inclui funções essenciais para manter as conexões ativas, como mantemConexoes(), que garante a continuidade das conexões com Wi-Fi e MQTT, conectaWiFi(), responsável pela conexão Wi-Fi especificada, e conectaMQTT(), que estabelece a conexão com o broker MQTT e inscreve o ESP8266 no tópico de interesse.

A função setup() é chamada apenas uma vez na inicialização do programa e configura a comunicação serial, os pinos do LED RGB e inicia o LED desligado. Ela também realiza a conexão Wi-Fi e configura o servidor MQTT.

Enquanto isso, a função loop() é executada repetidamente enquanto o programa está em execução, mantendo as conexões ativas e a comunicação com o broker MQTT.

A função callback() trata os dados recebidos do tópico inscrito no broker MQTT, extraindo os valores RGB da mensagem recebida e atualizando o vetor rgb[]. Em seguida, ela controla a intensidade dos LEDs vermelho, verde e azul utilizando a função analogWrite(), permitindo assim modificar a cor exibida pelo LED RGB.

Essa integração do atuador de fita LED RGB à arquitetura permite o controle dinâmico das cores, possibilitando diversas aplicações interativas, como jogos sérios multimodais, onde a iluminação pode ser utilizada para enfatizar informações, gerar respostas visuais imersivas e criar uma experiência mais envolvente para os usuários.

4.3 Uso da Arquitetura com o CicloExerGame

O estágio inicial de uso da arquitetura proposta concentrou-se na sua integração com o CicloExerGame, um jogo em desenvolvimento pelo grupo de pesquisa, que visa tornar as sessões de telerreabilitação mais atrativas e envolventes. Nesta seção, abordaremos a aplicação da arquitetura no contexto do CicloExerGame e o desenvolvimento dos novos sensores que foram posteriormente detalhados e testados com o motor de jogos utilizado por este.

4.3.1 Desenvolvimento dos Novos Sensores

Dois novos sensores foram concebidos para aprimorar a experiência de interação do usuário com o CicloExerGame. O primeiro deles incorpora um módulo MAX30102, capaz de monitorar em tempo real a frequência cardíaca e os níveis de oxigênio no

sangue (SPO2) do usuário. Esses dados fornecem um feedback para entender a resposta cardiovascular durante o exercício.

O segundo sensor tem como foco a medição da velocidade de pedalada do usuário. Ao contrário do cicloergômetro específico, que empregava reed switches, este novo sensor utiliza fotoreceptores infravermelhos para detectar os movimentos do usuário. Essa abordagem permite sua adaptação tanto a bicicletas ergométricas quanto a esteiras, aumentando a versatilidade e aplicabilidade.

O código é responsável por duas tarefas principais: a contagem de pedaladas por meio de sensor fotoreflexivo e a aquisição de dados de saúde por meio do sensor MAX30100. Vamos explorar detalhadamente cada parte do código, destacando como ele pode ser integrado à arquitetura com os microcontroladores, incluindo a forma como os dados são enviados para a Camada de Middleware.

O código começa com a importação das bibliotecas necessárias, o que é uma prática comum em programação. É importante notar que a biblioteca MAX30100_PulseOximeter.h é utilizada para interagir com o sensor MAX30100.

Na sequência, são definidas constantes e variáveis. A constante REPORTINGPERIODMS determina o intervalo de tempo em que os dados serão transmitidos. Variáveis como numCycles, cycleTime, heartHeat e spo2value armazenam informações, como o número de pedaladas, tempo de ciclo, frequência cardíaca e oxigenação sanguínea.

A seção de configuração (setup()) é onde ocorrem as inicializações iniciais dos pinos e dispositivos, como o sensor MAX30100. A partir daqui, o loop principal (loop()) inicia, realizando a leitura dos sensores e a manipulação dos dados obtidos.

O código lê os valores de frequência cardíaca e oxigenação sanguínea a partir do sensor MAX30100. A média das amostras de frequência cardíaca (heartHeat) é calculada para aumentar a estabilidade dos dados. Também é realizado um tratamento de erros de leitura do oxímetro, usando os últimos valores válidos em caso de leituras incorretas.

A implementação utilizando um fotoreceptor infravermelho como sensor de cicloergômetro apresenta uma alternativa ao dispositivo de reed switch previamente empregado. Este novo código, desenvolvido em linguagem C++, é integrado a microcontroladores e incorporado na arquitetura proposta, visando aprimorar a precisão e confiabilidade das medições.

A parte central do código é representada pelo loop contínuo responsável pela medição e filtragem do sinal proveniente do fotoreceptor. O LED IR é ativado brevemente por cerca de 500 microssegundos, garantindo sua intensidade máxima. As leituras do fotoreceptor são então obtidas através da função analogRead() na porta analógica A3.

O cálculo da diferença entre as leituras obtidas antes e depois da ativação do

LED IR ($c = a - b$) para a extração do sinal do fotoreceptor, promovendo a supressão do ruído ambiente. Tal diferença representa o sinal resultante do fotoreceptor, livre do ruído não relacionado ao LED IR.

A utilização desse código, em conjunto com os microcontroladores, viabiliza a coleta eficiente de leituras do fotoreceptor infravermelho. Os dados coletados podem ser encaminhados para a camada de middleware através do paradigma *publisher-subscriber*, respeitando os princípios da arquitetura proposta. Tal abordagem assegura a incorporação contínua de sensores sensíveis, como o fotoreceptor, em diversas aplicações, garantindo a precisão das medições mesmo em ambientes propensos a interferências, como a iluminação solar.

A adição deste novo código potencializa a versatilidade e confiabilidade dos sensores da arquitetura, contribuindo para uma ampla gama de aplicações no contexto de saúde e monitoramento fisiológico.

Para garantir uma comunicação padronizada, os dados coletados são formatados em uma estrutura JSON. Esta estrutura contém informações como número de pedaladas, tempo de ciclo, frequência cardíaca e oxigenação sanguínea. Uma vez formatados, os dados não são enviados via porta serial, como previamente mencionado, mas sim através de mensagens *publisher* para a Camada de Middleware.

4.3.2 Integração com a Arquitetura e Camada de Middleware

A integração desse código na arquitetura com microcontroladores é simplificada devido à padronização dos protocolos e componentes utilizados. A Camada de Dispositivos é responsável por hospedar o código e realizar a leitura dos sensores. A estrutura de conexão, configuração de rede sem fio e demais partes comuns aos sensores desenvolvidos para o Salus Cyber Ludens são compartilhadas, uma vez que ambos adotam a mesma arquitetura.

Os dados coletados no CicloExerGame são processados e encapsulados em mensagens *publisher* na Camada de Middleware. Essas mensagens contêm as informações necessárias para que a Camada de Middleware possa enviar os dados aos Endpoints apropriados, que podem ser servidores locais ou serviços em nuvem. Essa troca de informações ocorre de forma organizada, seguindo os princípios da arquitetura proposta.

4.3.3 Integração e Interação com o CicloExerGame

A integração dos novos sensores com a arquitetura ocorreu nas camadas de Dispositivos, Middleware e Endpoints, como previamente concebido. A arquitetura foi projetada para receber e processar os dados provenientes desses sensores, que foram então empregados no jogo.

Os dados de frequência cardíaca e oxigênio no sangue coletados pelo sensor MAX30102 foram utilizados para criar interações mais personalizadas e adaptativas no jogo. Já o sensor de velocidade de pedalada introduziu uma dimensão de controle ativo, ajustando a dinâmica do jogo com base na intensidade do exercício do usuário.

4.3.4 Testes com o Motor de Jogos do CicloExerGame

Para avaliar a eficácia da integração da arquitetura com o CicloExerGame e os novos sensores, foram realizados testes com o motor de jogos do CicloExerGame. Durante esses testes, os novos sensores foram colocados em funcionamento, coletando dados enquanto os usuários interagem com o jogo.

Os resultados desses testes forneceram informações sobre a usabilidade e a interação entre a arquitetura, os sensores e o CicloExerGame. Além disso, destacaram a capacidade da arquitetura em oferecer uma experiência de telerreabilitação mais envolvente e personalizada, fomentando o engajamento do usuário durante o exercício.

4.3.5 Considerações e Continuidade

O uso da arquitetura com o CicloExerGame e os novos sensores representou um estágio inicial de exploração e validação. Os resultados preliminares desses testes sinalizam a promissora capacidade da arquitetura em aprimorar a experiência de jogos de reabilitação, estimulando o engajamento do usuário e ampliando as possibilidades de aplicações de saúde e bem-estar.

Este estágio inicial também serviu como oportunidade para o envolvimento de aluno da Universidade Federal de Goiás em trabalho de iniciação científica, contribuindo para o desenvolvimento dos sensores e a integração tanto com o CicloExerGame quanto com o Salus Ciber Ludens. Adicionalmente, a aplicação da arquitetura nesta fase auxiliou no aprimoramento do processo de desenvolvimento e validação da arquitetura como um todo.

4.4 Implementação das Camadas de Software

A implementação das camadas de software permite a interação e comunicação efetiva entre os dispositivos e em jogos sérios, como o SCL e CicloExergame. Nesta seção, detalharemos a implementação de cada camada, destacando as linguagens de programação, serviços e tecnologias utilizadas.

Camada de Interface: Nesta camada, foram desenvolvidos módulos responsáveis pela aquisição de dados provenientes dos dispositivos de saúde e sensores. Utilizamos lingua-

gens como Python e C++, pois oferecem suporte adequado para a comunicação com esses dispositivos. Além disso, utilizamos frameworks e bibliotecas específicas, como PyBluez para comunicação Bluetooth e bibliotecas para acesso a sensores analógicos. Esses módulos foram responsáveis por coletar e pré-processar os dados dos dispositivos, garantindo a integridade e qualidade das informações.

Camada de Middleware: Na camada de processamento e análise, foram implementados algoritmos e lógicas para interpretar os dados adquiridos e extrair informações relevantes. Nesta etapa, utilizamos linguagens como Python e Node-RED, aproveitando suas capacidades de processamento de dados e aplicação de algoritmos específicos, como processamento de sinais, filtragem, análise estatística e reconhecimento de padrões.

Camada de Endpoints: Nesta camada, ocorreu a interligação dos dados processados com os jogos SCL e CicloExergame. Utilizamos linguagens como JavaScript e frameworks como Node.js para desenvolver APIs e serviços de comunicação. Adotamos serviços de mensageria, como MQTT, para garantir a transmissão eficiente dos dados entre os dispositivos e os jogos. Além disso, empregamos protocolos como RESTful para estabelecer a interface entre os endpoints de comunicação e os jogos, permitindo a integração fluida e segura dos dados.

Interface Web: Na camada de interface e experiência do usuário, focamos no desenvolvimento de interfaces visuais e interativas que permitem aos jogadores interagir com os jogos SCL e CicloExergame. Utilizamos tecnologias como HTML, CSS e JavaScript para criar interfaces web, oferecendo recursos intuitivos de interação, como cadastro e configurações da arquitetura.

A abordagem multi-camada adotada, aliada à escolha adequada de linguagens de programação, serviços e tecnologias em cada uma delas, possibilitou uma implementação eficiente da arquitetura. Isso assegura uma interação fluida, confiável e imersiva entre os dispositivos e os jogos SCL e CicloExergame. Essa integração bem-sucedida é fundamental para proporcionar aos jogadores uma experiência única e enriquecedora durante a interação com os jogos.

Realização de testes para verificar a funcionalidade e a efetividade dos dispositivos integrados

Após a implementação das camadas de software e a integração dos dispositivos, foram realizados testes para verificar a funcionalidade e a efetividade do sistema como um todo. Os testes foram conduzidos em diferentes etapas e envolveram diferentes aspectos da arquitetura. A seguir, descrevo os principais tipos de testes realizados:

- **Testes de comunicação:** Foram realizados testes para verificar a comunicação correta entre os dispositivos e o jogo. Isso incluiu testes de conexão Bluetooth, verificação da transmissão de dados e confirmação da correta recepção e interpretação dos comandos.
- **Testes de integração:** Foram realizados testes para garantir a integração correta dos dispositivos e as diferentes camadas de software. Isso incluiu a verificação da correta coleta de dados, processamento adequado e envio de informações para o jogo.
- **Testes de funcionalidade:** Foram realizados testes para verificar se os dispositivos e o jogo funcionavam corretamente em diferentes situações.
- **Testes de usabilidade:** Foram realizados testes com usuários para verificar a usabilidade do sistema e a experiência do usuário. Isso incluiu testes de interação com os dispositivos, testes de compreensão das informações exibidas e testes de facilidade de uso das interfaces.

Resultados dos testes:

1. **Testes de comunicação:** Os testes de comunicação foram bem-sucedidos, demonstrando uma conexão estável e confiável entre os dispositivos e o jogo. A transmissão de dados ocorreu sem falhas, e os comandos foram interpretados corretamente pelo sistema.
2. **Testes de integração:** Os testes de integração confirmaram que os dispositivos foram corretamente integrados às diferentes camadas de software. A coleta de dados ocorreu de forma adequada, e as informações foram processadas e enviadas para o jogo sem problemas.
3. **Testes de funcionalidade:** Os testes de funcionalidade demonstraram que os dispositivos e o jogo funcionaram corretamente em diversas situações. Os dispositivos responderam aos comandos do jogo de forma precisa, e as funcionalidades esperadas foram adequadamente executadas.
4. **Testes de usabilidade:** Os testes de usabilidade que foram conduzidos internamente obtiveram sucesso. Os usuários relataram uma interação intuitiva com os dispositivos, compreensão clara das informações exibidas e facilidade de uso das interfaces.

Os testes de usabilidade estão em andamento, e o próximo passo será a realização de testes com profissionais de saúde e pacientes. Esses testes adicionais serão conduzidos para obter feedback específico sobre a experiência de uso do sistema por parte dos usuários reais e identificar possíveis melhorias ou ajustes necessários.

Os resultados positivos dos testes até o momento indicam que o sistema está caminhando na direção certa e está pronto para avançar para a próxima fase de testes com profissionais de saúde e pacientes.

4.5 Considerações Finais

O capítulo anterior forneceu uma análise da arquitetura proposta para a integração de dispositivos de saúde e interação em jogos sérios multimodais. A validação e implementação dessa arquitetura foram abordadas, resultando em uma base para a interação entre os dispositivos e os jogos.

A metodologia de validação estabelecida orientou a abordagem deste capítulo, definindo objetivos de validação claros e fornecendo um caminho estruturado para avaliar o sistema.

A validação da arquitetura com o Salus Ciber Ludens solidificou as ideias discutidas, trazendo à tona uma aplicação concreta da arquitetura proposta. Os objetivos de validação abrangeram desde a identificação e seleção dos dispositivos até o desenvolvimento físico e de hardware. Detalhes abrangentes foram fornecidos sobre o desenvolvimento dos sensores e do aferidor de pressão arterial, incluindo a integração e o funcionamento desses componentes.

A Camada de Dispositivos foi concretizada por meio do desenvolvimento de sensores, da fita LED RGB e do aferidor de pressão arterial. A Camada de Interface foi responsável por permitir a comunicação entre os dispositivos e o sistema de jogos, garantindo uma interação perfeita e bidirecional. A Camada de Middleware facilitou a integração dos dados dos sensores e dispositivos de interação, criando uma base sólida para a funcionalidade global do sistema. Por fim, a Camada de Endpoints viabilizou a comunicação entre o sistema e os dispositivos, completando o ciclo de interação.

A implementação das camadas de software foi abordada, revelando as linguagens de programação, serviços e tecnologias utilizadas em cada etapa do processo. A realização de testes desempenhou um papel na validação da arquitetura, fornecendo evidências tangíveis da interação bem-sucedida entre dispositivos e jogos.

No próximo e último capítulo, as conclusões recapitularão os principais aspectos discutidos neste trabalho, enfatizando sua relevância e as contribuições para a pesquisa em jogos sérios multimodais e interações em saúde. Além disso, serão explorados os desdobramentos futuros dessa pesquisa e as possíveis aplicações e impactos que a arquitetura proposta pode ter em áreas diversas.

Conclusão

Este trabalho de dissertação apresentou uma análise abrangente da arquitetura proposta para a integração de dispositivos de saúde e interação em jogos sérios multimodais. O objetivo principal foi desenvolver uma estrutura que possibilitasse a interconexão fluida entre dispositivos de saúde e jogos, visando aprimorar a experiência dos usuários e promover uma abordagem inovadora para a promoção da saúde e bem-estar.

No capítulo dedicado à implementação da arquitetura, uma metodologia de validação foi estabelecida. Através dela, os objetivos de validação foram claramente definidos e uma amostra apropriada foi selecionada para garantir resultados. A validação da arquitetura foi realizada em conjunto com a aplicação prática no contexto do Salus Ciber Ludens, destacando a aplicabilidade e eficácia da arquitetura proposta.

A implementação dos novos dispositivos sensores, atuadores e do aferidor de pressão arterial foi abordada detalhadamente, demonstrando a integração cuidadosa dos componentes de hardware. As camadas de software foram desenvolvidas com linguagens e tecnologias apropriadas, permitindo a interação entre os dispositivos e os jogos. Os testes realizados confirmaram a funcionalidade e efetividade da interação, evidenciando o potencial da arquitetura para criar experiências imersivas e interativas.

Ao consolidar os resultados da validação e implementação, esta dissertação oferece uma base sólida para a integração de dispositivos de saúde e jogos por meio da arquitetura proposta. As contribuições deste trabalho incluem:

- A proposição de uma arquitetura inovadora para a integração de dispositivos de saúde e interação em jogos sérios multimodais, abrindo caminho para novas formas de promover a saúde e o bem-estar.
- A descrição das quatro camadas da arquitetura - Dispositivos, Interface, Middleware e Endpoints - oferecendo uma estrutura clara e abrangente para o desenvolvimento e implementação.
- A aplicação da arquitetura no contexto do Salus Ciber Ludens e do CicloExergame, validando sua eficácia e aplicabilidade prática.
- A implementação de dispositivos sensores, atuadores e aferidor de pressão arterial, demonstrando a integração bem-sucedida de componentes de hardware.

- A abordagem detalhada das camadas de software, incluindo linguagens, serviços e tecnologias utilizadas, e os testes realizados para verificar a funcionalidade.

Além das contribuições técnicas e conceituais intrínsecas à arquitetura, é importante salientar o impacto desse trabalho no âmbito do grupo de pesquisa. Este estudo serviu como um alicerce para pesquisas em andamento, incluindo projetos de doutorado que exploram jogos e abordagens multimodais. A arquitetura proposta não apenas direcionou o desenvolvimento técnico, mas também estabeleceu um paradigma metodológico que pôde ser aplicado a outros contextos de pesquisa.

Além disso a pesquisa se desdobrou como uma oportunidade de aprendizado para um aluno de iniciação científica da UFG, que desempenhou um papel no desenvolvimento de um novo sensor a ser integrado à arquitetura. Essa colaboração não apenas enriqueceu a pesquisa, mas também proporcionou uma experiência de aprendizado significativa para o aluno, demonstrando o impacto prático da pesquisa em um contexto acadêmico.

Essas contribuições estabelecem um alicerce para investigações e desenvolvimentos futuros na intersecção entre saúde digital, interação humano-computador e gamificação.

Trabalhos futuros podem se concentrar em aprimorar ainda mais a interação entre os dispositivos de saúde e os jogos, explorando possibilidades de gamificação mais profundas e envolventes.

Com a contínua evolução tecnológica, a arquitetura proposta pode desempenhar um papel importante na promoção da saúde e bem-estar, proporcionando experiências interativas e motivadoras para os usuários. O campo da saúde digital e gamificação está em constante crescimento, e este trabalho fornece uma base sólida para explorar novas fronteiras e possibilidades nesse âmbito.

Além disso, a validação da arquitetura em diferentes contextos e cenários pode contribuir para sua adaptação e escalabilidade. Também é essencial considerar aspectos de segurança e privacidade na integração de dispositivos de saúde, garantindo que os dados sensíveis dos usuários sejam protegidos adequadamente.

Referências Bibliográficas

- [1] **Node-red**. <https://nodered.org/>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- [2] **Respositório no github**. <https://github.com/flaviosye/mestrado>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- [3] AHMAD, S.; KHAN, F.; WHANGBO, T. K. **Performance evaluation of topological infrastructure in internet-of-things-enabled serious games**. *Computers, Materials Continua*, 71:2653–2666, 01 2022.
- [4] AHMAD, S.; UMIRZAKOVA, S.; JAMIL, F.; WHANGBO, T. K. **Internet-of-things-enabled serious games: A comprehensive survey**. *Future Generation Computer Systems*, 136:67–83, 2022.
- [5] ANTUNES, R. S.; SEEWALD, L. A.; RODRIGUES, V. F.; COSTA, C. A. D.; JR, L. G.; RIGHI, R. R.; MAIER, A.; ESKOFIER, B.; OLLENSCHLAEGER, M.; NADERI, F.; OTHERS. **A survey of sensors in healthcare workflow monitoring**. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(2):1–37, 2018.
- [6] BANOS, O.; VILLALONGA, C.; DAMAS, M.; GLOESEKOETTER, P.; POMARES, H.; ROJAS, I. **Physiodroid: Combining wearable health sensors and mobile devices for a ubiquitous, continuous, and personal monitoring**. *The Scientific World Journal*, 2014.
- [7] BROOKE, J. **SUS: A quick and dirty usability scale**. *Usability Eval. Ind.*, 189, 11 1995.
- [8] CHERNBUMROONG, S.; ATKINS, A.; YU, H. **Perception of smart home technologies to assist elderly people**. In: *4th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications*, p. 90–97. 4th International Conference on Software, Knowledge, Information Management . . . , 2010.
- [9] CHERNBUMROONG, S.; CANG, S.; ATKINS, A.; YU, H. **Elderly activities recognition and classification for applications in assisted living**. *Expert Systems with Applications*, 40(5):1662–1674, 2013.

- [10] CLUA, E. W. G. **Jogos sérios aplicados a saúde.** *Journal of Health Informatics*, 6, 2014.
- [11] DE OLIVEIRA, L. W.; DE OLIVEIRA, S. S.; DOS SANTOS, S. D. L. V.; DE CARVALHO, S. T. **Desenvolvimento de um jogo para hipertensão utilizando a metodologia design science research: equilibrando a ciência e a arte.** In: *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, p. 763–772. SBC, 2021.
- [12] ESCRIBANO, J. G.; GARCÍA, A. **Human condition monitoring in hazardous locations using pervasive RFID sensor tags and energy-efficient wireless networks.** *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, 13(9):674–688, 2012.
- [13] FELISBERTO, F.; LAZA, R.; FDEZ-RIVEROLA, F.; PEREIRA, A. **A distributed multi-agent system architecture for body area networks applied to healthcare monitoring.** *BioMed research international*, 2015, 2015.
- [14] GEORGI, N.; CORVOL, A.; JEANNES, R. L. B. **Middleware architecture for health sensors interoperability.** *IEEE Access*, 6:26283–26291, 2018.
- [15] GIANCASPRO, D.; RAGGIOLI, J.; MUZZI, B.; GUERRAZZI, C. **Serious games for the evaluation and training of medical staff: A systematic review.** *Simulation & Gaming*, 50(3):329–355, 2019.
- [16] GUIDANCE, D. **General wellness: Policy for low risk devices draft guidance for industry and food and drug administration staff.**
- [17] GUO, J.; ZHOU, X.; SUN, Y.; PING, G.; ZHAO, G.; LI, Z. **Smartphone-based patients' activity recognition by using a self-learning scheme for medical monitoring.** *Journal of medical systems*, 40(6):1–14, 2016.
- [18] HENRY, J.; TANG, S.; HANNEGHAN, M.; CARTER, C. **A framework for the integration of serious games and the internet of things (iot).** 05 2018.
- [19] HENRY, J.; TANG, S.; MUKHOPADHYAY, S.; YAP, M. H. **A randomised control trial for measuring student engagement through the internet of things and serious games.** *Internet of Things*, 13:100332, 2021.
- [20] JABBAR, S.; ULLAH, F.; KHALID, S.; KHAN, M.; HAN, K. **Semantic interoperability in heterogeneous iot infrastructure for healthcare.** *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017.
- [21] JAISWAL, K.; SOBHANAYAK, S.; TURUK, A. K.; BIBHUDATTA, S. L.; MOHANTA, B. K.; JENA, D. **An iot-cloud based smart healthcare monitoring system using**

- container based virtual environment in edge device.** In: *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR)*, p. 1–7, 2018.
- [22] JALEEL, A.; MAHMOOD, T.; HASSAN, M. A.; BANO, G.; KHURSHID, S. K. **Towards medical data interoperability through collaboration of healthcare devices.** *IEEE Access*, 8:132302–132319, 2020.
- [23] KIM, E.; HELAL, S.; COOK, D. **Human activity recognition and pattern discovery.** *IEEE pervasive computing*, 9(1):48–53, 2009.
- [24] KRANZFELDER, M.; ZYWITZA, D.; JELL, T.; SCHNEIDER, A.; GILLEN, S.; FRIESS, H.; FEUSSNER, H. **Real-time monitoring for detection of retained surgical sponges and team motion in the surgical operation room using radio-frequency-identification (RFID) technology: a preclinical evaluation.** *Journal of Surgical Research*, 175(2):191–198, 2012.
- [25] LARA, O. D.; LABRADOR, M. A. **A survey on human activity recognition using wearable sensors.** *IEEE communications surveys & tutorials*, 15(3):1192–1209, 2012.
- [26] MCGRATH, M. J.; SCANAILL, C. N. **Regulations and Standards: Considerations for Sensor Technologies**, p. 115–135. Apress, Berkeley, CA, 2013.
- [27] MINISTÉRIO DA SAÚDE, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **resolução rdc nº 185, de 22 de outubro de 2001.** https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0185_22_10_2001.pdf, 2001.
- [28] NÉRY, J. T. C.; HENRIQUE, Y.; HOUNSELL, M.; KEMCZINSKI, A. **Jogos sérios multimodais para a saúde: Um mapeamento sistemático da literatura.** *Proceedings of XVIII SBGames*, p. 198–206, 2019.
- [29] OLIVEIRA, L. W. D.; OLIVEIRA, S. S. D.; VIEIRA, M. A.; SANTOS, S. D. L. V. D.; CARVALHO, S. T. D. **Design science research: Balancing science and art in building a game applied to health.** *Journal on Interactive Systems*, 13(1):127–138, 2022.
- [30] REGO, P.; MOREIRA, P.; REIS, L. **Architecture for serious games in health rehabilitation.** *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 276:307–317, 01 2014.
- [31] REGO, P. A.; MOREIRA, P. M.; REIS, L. P. **A serious games framework for health rehabilitation.** *International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics (IJHISI)*, 9(3):1–21, 2014.

- [32] RIEGEL, B.; JAARSMA, T.; STRÖMBERG, A. **A middle-range theory of self-care of chronic illness.** *Advances in Nursing Science*, 35(3):194–204, 2012.
- [33] RIEGEL, B.; WESTLAND, H.; IOVINO, P.; BARELDS, I.; SLOT, J. B.; STAWNYCHY, M. A.; OSOKPO, O.; TARBI, E.; TRAPPENBURG, J. C.; VELLONE, E.; OTHERS. **Characteristics of self-care interventions for patients with a chronic condition: A scoping review.** *International Journal of Nursing Studies*, 116:103713, 2021.
- [34] SENA, J.; BARRETO, J.; CAETANO, C.; CRAMER, G.; SCHWARTZ, W. R. **Human activity recognition based on smartphone and wearable sensors using multiscale dcnn ensemble.** *Neurocomputing*, 444:226–243, 2021.
- [35] SLIM, S.; ATIA, A.; ELFATTAH, M.; MOSTAFA, M. **Survey on human activity recognition based on acceleration data.** *Intl. J. Adv. Comput. Sci. Appl*, 10:84–98, 2019.
- [36] SOUZA, C. H. R.; OLIVEIRA, D. M.; NASCIMENTO, D. F.; BERRETTA, L. D. O.; CARVALHO, S. T. D. **A serious games and game elements based approach for patient telerehabilitation contexts.** *Journal on Interactive Systems*, 13(1):179–191, 2022.
- [37] SOUZA, C. H. R.; DE OLIVEIRA, D. M.; DE OLIVEIRA BERRETTA, L.; DE CARVALHO, S. T. **Jogos sérios e elementos de jogos na promoção de engajamento em contextos de telerreabilitação de pacientes.** In: *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, p. 802–809. SBC, 2021.
- [38] SOUZA, C. H. R.; DE OLIVEIRA, D. M.; DE OLIVEIRA BERRETTA, L.; DE CARVALHO, S. T. **Jogos sérios e elementos de jogos na promoção de engajamento em contextos de telerreabilitação de pacientes.** In: *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, p. 802–809. SBC, 2021.
- [39] TRINDADE, A. B.; JERONIMO, J. L.; HOUNSELL, M. D. S.; FAUST, R. G. **Avaliação de plataforma multimodal de jogos sérios para auxílio a terapia para autistas.** In: *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, p. 281–291. SBC, 2021.
- [40] TURK, M. **Multimodal interaction: A review.** *Pattern Recognition Letters*, 36:189–195, 2014.
- [41] WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**, volume 2. Elsevier, 2009.

- [42] WICKRAMASINGHE, A.; RANASINGHE, D. C. **Ambulatory monitoring using passive computational RFID sensors.** *IEEE Sensors Journal*, 15(10):5859–5869, 2015.
- [43] YUAN, B.; HERBERT, J. **Non-intrusive movement detection in cara pervasive healthcare application.** In: *The 2011 international conference on wireless networks, WORLDCOMP*, volume 11, p. 360–366, 2011.
- [44] ZHANG, S.; MCCULLAGH, P.; ZHANG, J.; YU, T. **A smartphone based real-time daily activity monitoring system.** *Cluster computing*, 17(3):711–721, 2014.