

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE  
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL



LUIS FELIPE DA SILVA MOUREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA  
TREINAMENTO FUNCIONAL BASEADO EM ESP32**

Cajazeiras, PB  
2023

LUIS FELIPE DA SILVA MOUREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA  
TREINAMENTO FUNCIONAL BASEADO EM ESP32**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Tecnologia em  
Automação Industrial do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
como parte dos requisitos para a obtenção do  
grau de Tecnólogo em Automação Industrial

**Orientador:** Prof. Dr. Leandro Luttiane da  
Silva Linhares

Cajazeiras, PB  
2023

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva

Catálogo na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

|                  |  |
|------------------|--|
| M931d<br>IFPB/CZ | <p>Moureira, Luis Felipe da Silva.<br/>Desenvolvimento de dispositivo de baixo custo para treinamento funcional baseado em ESP32 / Luis Felipe da Silva Moureira. – 2023.<br/>48f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Automação Industrial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof. Dr. Leandro Luttiane da Silva Linhares.</p> <p>1. Desenvolvimento de sistemas. 2. Atividade física - Software. 3. sistema embarcado. 4. Microcontrolador ESP32. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p> <p>CDU: 681.5(043.2)</p> |
|------------------|--|



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LUIS FELIPE DA SILVA MOUREIRA (201712030009)

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA TREINAMENTO FUNCIONAL  
BASEADO EM ESP32

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito  
para obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, pelo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba -  
Campus Cajazeiras.

Aprovado em 24 de março de 2023.

**Membros da Banca Examinadora:**

Leandro Luttiane da Silva Linhares

IFPB - Unidade Acadêmica de Informática

Abinadabe Andrade Silva

IFPB - Unidade Acadêmica de Industria

Gemerson Valois da Mota Candido

IFPB - Unidade Acadêmica de Industria

Luan Carvalho Santana de Oliveira

IFPB - Unidade Acadêmica de Industria

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Luttiane da Silva Linhares, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/04/2023 13:35:16.
- Luan Carvalho Santana de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/04/2023 14:07:29.
- Gemierson Valois da Mota Candido, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/04/2023 15:27:39.
- Abinadabe Silva Andrade, DIRETOR(A) GERAL - CD2 - DG-CZ, em 10/04/2023 11:33:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/04/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autencardocumento/> e forneça os dados abaixo:

Código 413463  
Verificador: 45a553e288  
Código de Autenticação:



Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CAJAZEIRAS / PB, CEP 58.900-000  
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3532-4100

"A tecnologia move o mundo, mas são as pessoas que impulsionam a inovação e transformam sonhos em realidade."

Satya Nadella

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com imensa gratidão e carinho às pessoas que foram fundamentais em minha jornada acadêmica e pessoal.

Aos meus amados pais, agradeço por estarem ao meu lado em todos os momentos difíceis, por seu apoio incondicional e pelo incentivo moral que me impulsionou nesta trajetória.

Aos meus estimados professores, gratidão por cada lição e ensinamento. Pela paciência e o apoio ao longo do caminho. Sem a orientação proporcionada por vocês, este objetivo não teria sido alcançado.

Aos meus queridos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando bons momentos e aprendizados. Amizades que foram suporte fundamental em minha jornada.

À minha saudosa tia e madrinha Babá, que sempre me incentivou e me apoiou, assim como meu tio Toinho, professor ímpar, que sempre buscou dar apoio.

Finalmente, expresso minha gratidão a todas as pessoas que conheci ao longo desta caminhada. Não há palavras que descrevam a estima de tê-los como peças fundamentais para esta jornada acadêmica e pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, meu agradecimento especial aos meus pais pelo amor, apoio e compreensão incondicionais. Vocês foram minha base e fonte de inspiração em todos os momentos.

Aos meus professores, agradeço pela dedicação de compartilhar conhecimentos, pela paciência e incentivo durante minha jornada acadêmica. Suas aulas e ensinamentos foram essenciais para a minha formação.

Ao meu orientador, agradeço pela orientação, pela partilha de conhecimento e suporte ao longo de todos os processos. Sua orientação e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de jornada acadêmica, que agora alguns tornam-se companheiros de jornada profissional. Agradeço por todos os momentos de troca de conhecimento e ideias, pelo apoio mútuo, discussões enriquecedoras e pelas demais contribuições.

Ao IFPB Campus Cajazeiras como um todo, aos servidores, terceirizados e todos que de alguma forma contribuíram para que aquele ambiente pudesse tornar-se uma espécie de segunda casa.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste trabalho, em especial, à minha companheira de vida, Maria de Fátima. Seja por meio de palavras de encorajamento, sugestões, críticas construtivas ou simplesmente por estarem presentes, cada gesto foi importante e significativo.



## RESUMO

O presente trabalho apresenta a continuação de um projeto iniciado através da pesquisa científica, por meio de editais de pesquisa INTERCONECTA. Este consiste na construção e desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para treinamento funcional, que possa ser utilizado por praticantes de atividades físicas no geral, ou ainda, como atividade fisioterápica e em terapias neurológicas. A motivação para o desenvolvimento deste trabalho está no custo elevado para aquisição de um dispositivo comercial com as mesmas finalidades. Outro ponto a ser considerado na motivação deste trabalho é a inserção da tecnologia como forma de incentivo à atividade física. O dispositivo foi construído utilizando microcontroladores, sensores e atuadores. Os microcontroladores possuem uma conexão entre si com uma interface mestre-escravo, e ainda, o mestre possui uma conexão com um aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis, realizando a interação humano-máquina. Como resultado, foi obtido um dispositivo com funcionamento satisfatório e semelhante a dispositivos comerciais, sendo possível realizar treinamentos e atividades com rotinas definidas previamente ou aleatórias, com aquisição de resultados acerca do treinamento.

**Palavras-Chave:** Microcontroladores. Atividade Física. ESP32.

## ABSTRACT

This work presents the continuation of a project initiated through scientific research, funded by INTERCONNECTA research grants. It consists of the construction and development of a low-cost device for functional training, which can be used by individuals practicing physical activities in general, as well as in physiotherapy and neurological therapies. The motivation for this work stems from the high cost of commercially available devices with similar functionalities. Another aspect considered in the motivation of this work is the integration of technology as a means to promote physical activity. The device was built using microcontrollers, sensors, and actuators. The microcontrollers are interconnected using a master-slave interface, and the master has a connection to a mobile application, enabling human-machine interaction. As a result, a device with satisfactory functionality, comparable to commercial devices, was achieved. It allows for the execution of predefined or random training routines and provides feedback on the training session.

**Keywords:** Microcontrollers. Physical Activity. ESP32.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> – Causas de morte no Brasil em 2022 Milhares de óbitos. Dados de COVID-19 de 2022, as demais doenças são calculadas pela média da mortalidade de 2017 a 2021 ..... | 21 |
| <b>Figura 2</b> - Treino Funcional com o FITLIGHT <i>Trainer</i> <sup>TM</sup> .....   | 24 |
| <b>Figura 3</b> - Dispositivo desenvolvido em trabalho na Espanha .....  | 25 |
| <b>Figura 4</b> - Módulo ESP32.....  | 26 |
| <b>Figura 5</b> - Pinagem da ESP32.....  | 27 |
| <b>Figura 6</b> – Representação de uso do protocolo ESP-NOW .....  | 28 |
| <b>Figura 7</b> – Logotipo do protocolo Bluetooth .....  | 29 |
| <b>Figura 8</b> – Modelo inicial e formato do invólucro .....  | 31 |
| <b>Figura 9</b> - Parte superior do invólucro com destaque para a furação do sensor de distância e do display OLED .....   | 32 |
| <b>Figura 10</b> - Parte inferior do invólucro .....   | 33 |
| <b>Figura 11</b> - Sensor de distância Ultrassônico HC-SR04 .....  | 34 |
| <b>Figura 12</b> - PCI elaborada.....  | 36 |
| <b>Figura 13</b> - Representação 3D da PCI .....   | 36 |
| <b>Figura 14</b> - Vistas superior e inferior da PCI executada .....   | 37 |
| <b>Figura 15</b> – Telas Inicias e Tela Principal do aplicativo. ....  | 38 |
| <b>Figura 16</b> – Arquitetura de Comunicação. ....  | 38 |
| <b>Figura 17</b> – Disposição dos componentes na parte interior do invólucro .....   | 44 |
| <b>Figura 18</b> – Dispositivo ATP em funcionamento.....   | 44 |
| <b>Figura 19</b> – Trecho de código relacionado aos protocolos de comunicação .....  | 45 |

**LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> - Custos de produção das peças do invólucro .....                          | 41 |
| <b>Tabela 2</b> - Lista final de produtos utilizados na confecção de cada dispositivo..... | 42 |



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>DEDICATÓRIA</b> .....   | 7  |
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....  | 8  |
| <b>RESUMO</b> .....  | 9  |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | 10 |
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....  | 11 |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....  | 12 |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....   | 13 |
| <b>SUMÁRIO</b> .....   | 14 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 16 |
| <b>1.1 Objetivos gerais</b> .....  | 18 |
| <b>1.2 Objetivos específicos</b> .....   | 18 |
| <b>1.3 Estrutura e organização do documento</b> .....                                      | 19 |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....   | 20 |
| <b>2.1 Atividade física e saúde</b> .....  | 20 |
| <b>2.2 Treinamento funcional</b> .....   | 22 |
| <b>2.3 Dispositivos e protótipos para treino de agilidade e reação</b> .....               | 23 |
| <b>2.4 Sistemas embarcados</b> .....   | 25 |
| <b>2.4.1 Microcontrolador ESP32</b> .....  | 26 |
| <b>2.5 Protocolos de comunicação</b> .....   | 27 |
| <b>3 MÉTODOS, TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> ..... | 30 |
| <b>3.1 Desenvolvimento da plataforma de hardware do protótipo</b> .....                    | 30 |
| <b>3.1.1 Projeto e confecção do invólucro</b> .....  | 30 |
| <b>3.1.2 Componentes utilizados</b> .....  | 33 |
| <b>3.1.2.1 Sensores</b> .....  | 33 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.1.2.2 Atuadores .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>3.1.2.3 Controladores.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.1.3 Projeto e confecção do circuito e placa PCB .....</b>               | <b>35</b> |
| <b>3.2 Desenvolvimento do software e do firmware .....</b>                   | <b>37</b> |
| <b>3.2.1 Desenvolvimento do software .....</b>                               | <b>37</b> |
| <b>3.2.2 Considerações sobre o firmware .....</b>                            | <b>39</b> |
| <b>3.2.3 Implementações de rotinas de treino e testes de utilização.....</b> | <b>39</b> |
| <b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>47</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

É notório que a prática regular de exercícios físicos traz grandes benefícios à saúde e ao bem-estar dos indivíduos, bem como é uma das formas de prevenção de possíveis doenças e malefícios causados pelo sedentarismo. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a inatividade física é o quarto principal fator de risco de morte no mundo (OMS, 2014). A atividade física regular cumpre papel fundamental na prevenção e tratamento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) como as cardíacas, acidentes vasculares cerebrais, diabetes e câncer de mama e de colo do útero. Essas enfermidades são responsáveis por 71% de todas as mortes no mundo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022).

A atividade física é definida pela OMS como sendo qualquer movimento corporal produzido pelos músculos esqueléticos que necessite de gasto energético, devendo ser planejada, estruturada e repetitiva, com o objetivo de manter ou aprimorar o condicionamento físico. Deste modo, a atividade física melhora o condicionamento muscular e cardiorrespiratório, amplia a saúde óssea e funcional, reduz o risco de surgimento de hipertensão, acidentes vasculares cerebrais (AVC) e depressão. Ademais, possui papel importante no balanço energético, combatendo o sobrepeso e obesidade (OMS, 2014).

Apesar destes benefícios, segundo o Ministério da Saúde (2022), em todo o mundo, um em cada cinco adultos e quatro em cada cinco adolescentes com idades entre 11 e 17 anos não praticam atividade física de forma satisfatória. Com isso, toda e qualquer ferramenta, método ou técnica que motive um indivíduo ou grupo a realizar exercícios físicos possui grande valor para a sociedade, visto que a atividade física confere benefícios para a melhora da aptidão física, saúde cardiometabólica, óssea e mental, proporciona resultados cognitivos e redução da adiposidade, como descrito por Agostinis (2021).

Ao considerar a prática esportiva de alto rendimento, atletas de competição de diferentes esportes, tais como futebol, basquete, automobilismo, artes marciais, handebol, futsal, entre outros (FITLIGHT, 2022; RIBEIRO e BRAGA, 2016), fazem uso de dispositivos tecnológicos para elevar o nível de seus treinamentos e, conseqüentemente, obter um melhor desempenho esportivo. Destes dispositivos, podem ser citados o FITLIGHT *Trainer*<sup>TM</sup> (FITLIGHT, 2022), *Reax Lights Pro* (REAXING, 2022), *BlazePod* (BLAZEPOD, 2022), *Light Trainer*<sup>®</sup> (TRAINER, 2022), entre outros.

Em geral, os equipamentos supracitados possuem o mesmo princípio básico de funcionamento. Os seus elementos são dispostos em diferentes posições, emitindo luzes de cores variadas em uma sequência aleatória ou predeterminada em diferentes níveis de



velocidade. Os atletas, por sua vez, reagem aos estímulos visuais por meio da realização de movimentos corporais. A configuração das sessões de treinamento, assim como o gerenciamento da execução das mesmas e o armazenamento de resultados de desempenho são normalmente realizados por meio de dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones*. Esse tipo de atividade física é capaz de estimular o indivíduo de forma física e mental, de modo a desenvolver aptidões e habilidades como a agilidade, a velocidade de reação, coordenação motora e reflexos.

Apesar do forte vínculo destes equipamentos com a prática esportiva, a versatilidade deste tipo de dispositivo é comprovada pela variedade de possíveis aplicações em outras áreas, a exemplo da fisioterapia, na reabilitação de pacientes com lesões de diferentes tipos, terapias neurológicas em pacientes com histórico de acidente vascular encefálico ou concussões (MAKOTO, 2022b), como ferramenta de auxílio no tratamento de pessoas com distúrbios cognitivos, crianças autistas, transtorno de *déficit* de atenção com hiperatividade (TDAH) (MAKOTO, 2022c; TEAM, 2016), ou mesmo por pessoas comuns que buscam apenas manter uma prática regular de exercícios físicos e bons níveis de saúde física e mental.

Na literatura, pouco se encontra acerca de trabalhos com o propósito de desenvolver dispositivos semelhantes, independente do foco de sua aplicação. No entanto, há um trabalho realizado na Espanha, na *Escuela Superior de Ingeniería Industrial, Aeronáutica y Audiovisual de Terrassa* (ESEIAAT), que propôs a criação de um protótipo de sistema de treinamento físico baseado em Arduíno e aplicação móvel (HERNÁNDEZ, 2017). Em síntese, o trabalho desenvolvido por Hernández descreve a construção do protótipo de dispositivo tanto em hardware como em firmware, além da elaboração do aplicativo móvel utilizado.

Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo aplicável, primordialmente, a treinamentos físicos e funcionais. O dispositivo completo consiste em módulos independentes, compostos pelo microcontrolador ESP32 (ESPRESSIF, 2022), sensores e atuadores, dispostos em placas de circuito impresso e arranjados em invólucros desenvolvidos por meio de impressão 3D. Estes módulos conectam-se em uma arquitetura mestre-escravo com o suporte do protocolo de comunicação sem fio ESP-NOW (ESPRESSIF, 2016). O ESP32 presente no módulo mestre estabelece comunicação com um dispositivo móvel (por exemplo, *tablet* ou *smartphone*) por meio do protocolo Bluetooth, permitindo, assim, a interação homem-máquina. O uso de mecanismos sem fio de comunicação proporciona uma maior flexibilidade de uso ao protótipo proposto.

O dispositivo móvel interage com o equipamento proposto por meio do aplicativo denominado ATP-MANAGER, o qual possui uma interface amigável e funcional,

proporcionando ao usuário a possibilidade de facilmente configurar o dispositivo proposto, realizar a execução de diferentes tipos de treinamento e armazenar os resultados das sessões de treino para posterior avaliação. O projeto deste aplicativo não é mérito deste trabalho, tendo sido desenvolvido por Silva (2021).

Ainda que de forma experimental, o dispositivo fruto deste trabalho é capaz de realizar muitas das funções encontradas nos dispositivos comerciais semelhantes e ainda possui a capacidade de serem acrescentadas novas funcionalidades, tornando o planejamento e a execução dos treinamentos ainda mais personalizáveis. Outro ponto relevante, ao se analisar o dispositivo proposto, está no material utilizado para sua construção. Além de ser um material de baixo custo, são componentes encontrados com facilidade.

### **1.1 Objetivos gerais**

Este trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de dispositivo microcontrolado de baixo custo com funcionamento sem fio capaz de auxiliar na prática de atividades funcionais e esportivas. Assim, quando finalizado, espera-se que o equipamento constitua uma ferramenta tecnológica que venha a contribuir para o aumento da prática de atividade física, proporcionando inúmeros benefícios de saúde aos seus usuários.

### **1.2 Objetivos específicos**

A fim de atingir o objetivo geral proposto neste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Efetuar pesquisa bibliográfica relacionada com o tema do trabalho, como sobre as tecnologias e ferramentas a serem aplicadas;
- Definir a arquitetura de comunicação dos componentes do sistema, selecionando os protocolos sem fio adequados e determinando as mensagens utilizadas entres os módulos e o dispositivo mestre e o aplicativo móvel;
- Desenvolver o *hardware* do dispositivo, o que engloba a determinação dos componentes necessários (ESP32, LEDs, sensores, LCD, baterias, entre outros), elaboração do circuito, impressão e montagem da Placa de Circuito Impresso (PCI) dos módulos do dispositivo;
- Implementar o conjunto de instruções de *firmware* para os microcontroladores ESP32 presentes nos módulos do dispositivo, garantindo o adequado funcionamento do *hardware* do sistema e a comunicação sem fio do equipamento;

- Construir invólucro para acomodação do *hardware* dos módulos por meio de projeto e impressão 3D;
- Incentivar o uso de tecnologia como forma de estimular a realização de atividades físicas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *Campus Cajazeiras*, em especial na prática de treinamento funcional.

### **1.3 Estrutura e organização do documento**

O restante deste documento está organizado em quatro capítulos. O Capítulo 2 trata da fundamentação teórica e descreve as tecnologias e ferramentas envolvidas no desenvolvimento do trabalho, desde componentes eletrônicos e protocolos, até conceitos técnicos considerados importantes para atingir o objetivo geral estipulado. O Capítulo 3 apresenta os detalhes do projeto do equipamento proposto, descrevendo a metodologia, a técnica e os instrumentos utilizados, bem como a forma como estes foram aplicados no trabalho. Por fim, os capítulos 4 e 5 estão diretamente relacionados aos resultados deste trabalho. O Capítulo 4 apresenta uma análise dos resultados alcançados e o Capítulo 5 descreve as conclusões finais sobre o desenvolvimento do equipamento e perspectivas futuras para sua utilização e aprimoramento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo expõe a fundamentação utilizada para a realização deste trabalho. Assim, considerando a problemática envolvida, destacam-se a importância que a prática de atividade física regular proporciona à saúde dos indivíduos, a conceituação de treinamento funcional, alguns dispositivos comerciais e desenvolvidos pela literatura que se assemelham ao proposto neste trabalho e a apresentação de tecnologias ou ferramentas adotadas no desenvolvimento do sistema de treinamento, tais como sistemas embarcados e protocolos de comunicação.

De antemão, deve-se ressaltar que os principais componentes empregados no desenvolvimento do sistema proposto por este trabalho são: microcontrolador ESP32 (ESPRESSIF, 2022), LEDs do tipo RGB, sensor ultrassônico, baterias e circuito de carga. Em termos de comunicação, a conexão entre os dispositivos que compõem o sistema é realizada por meio do protocolo ESP-NOW, desenvolvido pela *Espressif* (ESPRESSIF, 2022), ao passo que a conexão entre o dispositivo mestre do sistema e o dispositivo móvel foi estabelecida com o apoio do protocolo *Bluetooth*.

### 2.1 Atividade física e saúde

Desde muito tempo a humanidade traz em si a ideia de que a prática de atividade física está associada a boas condições de saúde. O médico grego Hipócrates (460 a.C. – 370 a.C), considerado o Pai da Medicina, defendia a prática de exercícios físicos como forma de manter-se saudável. Ele afirmava que “se pudéssemos dar a cada indivíduo a quantidade certa de nutrição e exercício físico, teríamos encontrado o caminho mais seguro para a saúde. Hipócrates também defendia que “a falta de atividade física destrói a boa condição de qualquer ser humano, enquanto o movimento e o exercício físico metódico o salva e o preserva”. Platão, o filósofo grego, dizia que “para o homem se manter sadio não basta se alimentar, mas também praticar algum tipo de movimento”. No século XVI, o italiano Hyeronimus Mercuriali, médico e filologista, autor do livro *A Arte da Ginástica*, dizia que “a verdadeira Medicina é a preventiva, enquanto a terapêutica é insegura. A melhor prevenção é a prática de exercícios físicos”.

De acordo com Nahas (2017), durante muito tempo tinha-se a noção que determinadas características físicas possuíam relação direta com a boa saúde e longevidade, tais como a força muscular e a resistência física. As pessoas que se mantinham ativas fisicamente ao longo da vida tornavam-se mais independentes e viviam por mais tempo. Apesar dessas observações, o estudo mais aprofundado da atividade física e de seus benefícios à saúde não era considerada uma questão fundamental em termos de saúde pública. Isso porque as principais causas de

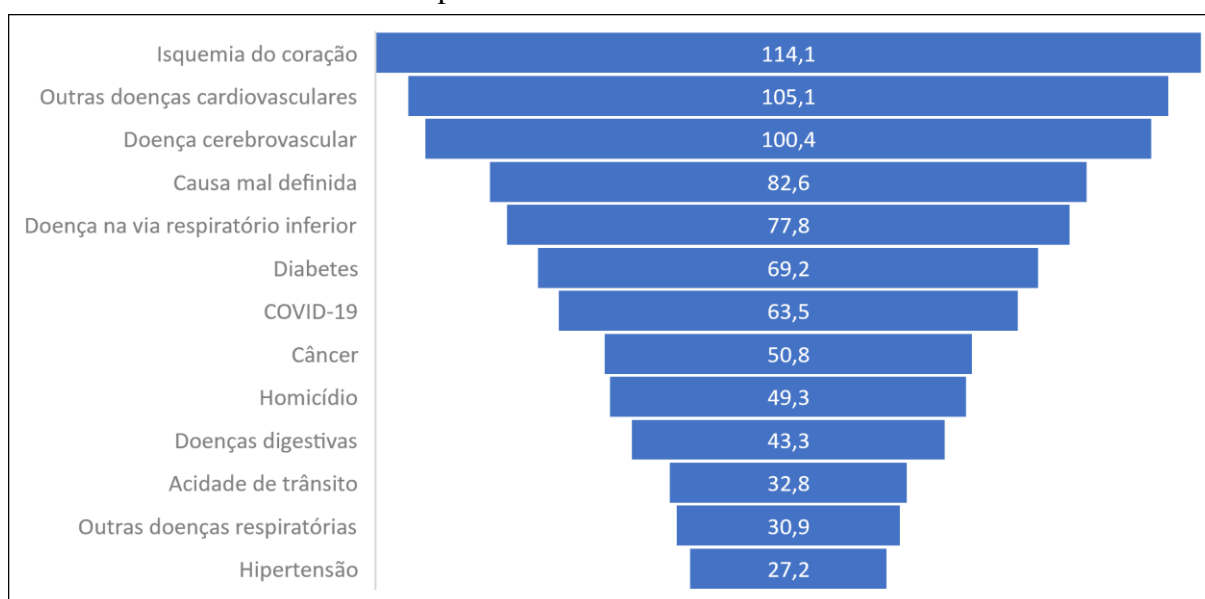
morte da sociedade eram motivadas pela sua interação com o meio ambiente – água, alimentos, esgoto, clima – e por “causas externas”, como mortes violentas em guerras, crimes e acidentes.

No último século, a acelerada modificação na sociedade contribuiu sobremaneira para que a atividade física fosse estudada como fator de prevenção e tratamento de diferentes tipos de doenças. Segundo Nahas (2017), grandes concentrações urbanas, redução dos espaços livres, máquinas que nos poupam esforço e a vida sedentária construíram o cenário ideal para o crescimento das doenças associadas à inatividade física.

A atividade física pode ser definida como qualquer movimento corporal produzido pelos músculos esqueléticos que resulta em gasto energético acima dos níveis de repouso (NAHAS, 2017). A prática regular de atividade física é associada a diversos benefícios para a saúde, tais como redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, diabetes, hipertensão arterial e doenças cardiovasculares, melhora da capacidade cardiorrespiratória, da composição corporal, da saúde óssea e da saúde mental, entre outros.

A publicação produzida por Mali e Albernaz (2023) relaciona o número de óbitos decorrentes da COVID-19 em 2022 com as demais causas de morte no Brasil (ver Figura 1). Para estas últimas, devido à ausência de informações mais recentes, os autores utilizaram a média de mortalidade de 2017 a 2021 a efeito de comparação.

**Figura 1** – Causas de morte no Brasil em 2022  
Milhares de óbitos. Dados de COVID-19 de 2022, as demais doenças são calculadas pela média da mortalidade de 2017 a 2021



Fonte: Adaptado de Mali e Albernaz (2023)

Ao considerar o exposto na Figura 1 e tendo o conhecimento dos benefícios que a prática da atividade física pode proporcionar à saúde, pode-se afirmar que o incentivo à prática de exercícios e a sua realização é uma ação em potencial para reduzir o número de óbitos no país.

Apesar da importância que a tecnologia possui para a sociedade, propiciando segurança, conforto, rapidez na realização de atividades, entre outros, sabe-se que uma das causas para o aumento da inatividade física e do sedentarismo é a rápida evolução tecnológica e a sua disseminação em todo o mundo. Assim, é necessário que a sociedade tire proveito dessas tecnologias sem perder sua qualidade de vida, podendo até mesmo fazer uso das mesmas com o objetivo de manter-se ativa fisicamente, realizando diferentes exercícios de forma mais atrativa com equipamentos como o proposto neste trabalho.

## **2.2 Treinamento funcional**

O termo treinamento funcional surgiu nos anos 50, em reconhecimento aos trabalhos realizados na reabilitação de lesões de soldados na segunda guerra mundial e em atletas olímpicos, quando se percebeu a necessidade de trabalhos específicos e diferenciados para cada modalidade esportiva (BOSSI, 2011).

No Brasil, o treinamento funcional começou a ser mais amplamente utilizado na década de 1990, especialmente entre fisioterapeutas que usavam exercícios funcionais em seus tratamentos de reabilitação. Segundo Diehl (2020), nessa época, esse tipo de treinamento surgia como proposta para melhora na agilidade, força e coordenação por meio de exercícios multiarticulares que exploravam variações de velocidade, semelhantes aos movimentos naturais do cotidiano ou esportivas, tais como sentar, levantar, correr, pular e empurrar. Na década de 2000, o treinamento funcional despertou o interesse de profissionais da área da Educação Física e a partir desse momento ganhou popularidade, sendo incluído como atividade em inúmeras academias de ginástica.

Diferentes definições são atribuídas ao treinamento funcional, tendo alguma delas dado margem para discussões. Segundo o dicionário de língua portuguesa Michaelis (2022), o termo treinamento tem como significado a ação ou efeito de treinar. Já funcional faz referência às funções vitais, ou ainda, que exerce ou é capaz de exercer sua função regularmente intrínseca. Ao associar os dois termos, treinamento funcional pode ser entendido como a ação de treinar para aprimorar as funções vitais. D'Elia (2017) considera o treinamento funcional como uma

base de exercícios mais amplos, com o intuito de gerar especificidades para demandas neurais, mecânicas e metabólicas em conjunto, para a melhora do desempenho.

Para Gelatti (2009), o treinamento funcional é aquele que ajuda o corpo a realizar movimentos de forma integrada e eficiente, fortalecendo músculos, melhorando as funções cerebrais responsáveis por tudo que nosso corpo faz e cria. De acordo com Bompa e Haff (2012), a combinação entre força, velocidade, resistência, coordenação, flexibilidade e equilíbrio é fundamental para o sucesso nas atividades motoras e interligas essas ações é o objetivo do treinamento funcional.

Além dos benefícios físicos, tais como melhoria da força, coordenação e equilíbrio, aumento da resistência muscular e cardiorrespiratória, fortalecimento do *core* (músculos da região abdominal, lombar e pélvica), aprimoramento da postura, redução de peso corporal, entre outros, o treinamento funcional também pode proporcionar benefícios psicológicos, como melhora do humor, redução do estresse e aumento da autoestima. Assim, por meio de uma abordagem abrangente para o condicionamento físico, o treinamento funcional auxiliar na melhora da saúde, bem-estar e qualidade de vida. Contudo, é importante destacar que a prática de qualquer tipo de atividade física deve ser orientada por profissionais capacitados, respeitando-se as individualidades e limitações de cada indivíduo, de forma a garantir sua segurança e efetividade.

### **2.3 Dispositivos e protótipos para treino de agilidade e reação**

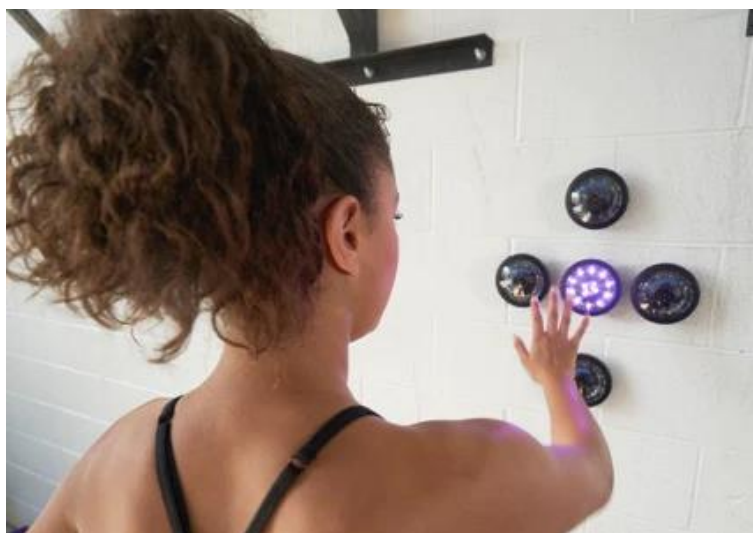
Além das formas e dos inúmeros equipamentos convencionais normalmente utilizados para a realização de treinos funcionais, tais como escadas de agilidade, *wall balls*, *kettlebells*, cordas navais, cones, discos de equilíbrio, entre outros, existem no mercado algumas soluções mais tecnológicas, desenvolvidas pensando-se na adaptabilidade e comodidade do atleta. Devido à possibilidade de definição de rotinas e tipos de treinos estes dispositivos são capazes de se adaptar ao ritmo do usuário, sendo indicados tanto para treinos simples que podem ser realizados na própria residência daquele que adquiriu o produto, como sequências de treinos mais complexos, os quais são mais indicados para atletas que buscam a excelência esportiva.

Dentre os dispositivos existentes no mercado que visam o desenvolvimento de rotinas de treinos, podemos citar o *FITLIGHT Trainer™* (FITLIGHT, 2022), *Reax Lights Pro* (REAXING, 2022), *BlazePod* (BLAZEPOD, 2022), *Light Trainer®* (TRAINER, 2022), entre outros. Todos os exemplos citados apresentam características que tornam a sua utilização agradável e a atividade física prazerosa, possuindo alta adaptabilidade e facilidade de uso. O grande contra destes dispositivos são o seu alto custo, que pode chegar a milhares de reais.

Como alternativa a estes equipamentos, este trabalho propõe um protótipo de baixo custo que possui as características necessárias para que o usuário (profissional da Educação Física) possa desenvolver adequadamente as suas próprias rotinas de treino. Como inspiração para o desenvolvimento deste trabalho, foram analisadas, principalmente, as características presentes no dispositivo FITLIGHT *Trainer*<sup>TM</sup>. Dessa forma, convém discorrer um pouco sobre a forma de funcionamento deste equipamento comercial.

O FITLIGHT *Trainer*<sup>TM</sup> é um produto modular em que existem opções de se adquirir dois ou mais dispositivos para se usar simultaneamente. Os dispositivos comunicam-se entre si, sendo assim, podem ser utilizados vários módulos em uma mesma rotina de treino para se criar elaborados circuitos de treinamento. Este produto disponibiliza um aplicativo próprio que realiza a interface homem máquina. Nesse aplicativo é possível definir treinos, rotinas e ainda visualizar os resultados ao final das séries de treino realizadas. Os dispositivos do produto possuem formato circular e um conjunto de luzes que se acendem de acordo com a configuração do treino, em que o principal intuito é desativar as luzes de maneira sequencial para se concluir o exercício. Na Figura 1, pode-se visualizar uma das muitas formas de utilização do dispositivo FITLIGHT *Trainer*<sup>TM</sup>, exemplificando o formato de seus dispositivos e seu uso.

**Figura 2** - Treino Funcional com o FITLIGHT *Trainer*<sup>TM</sup>



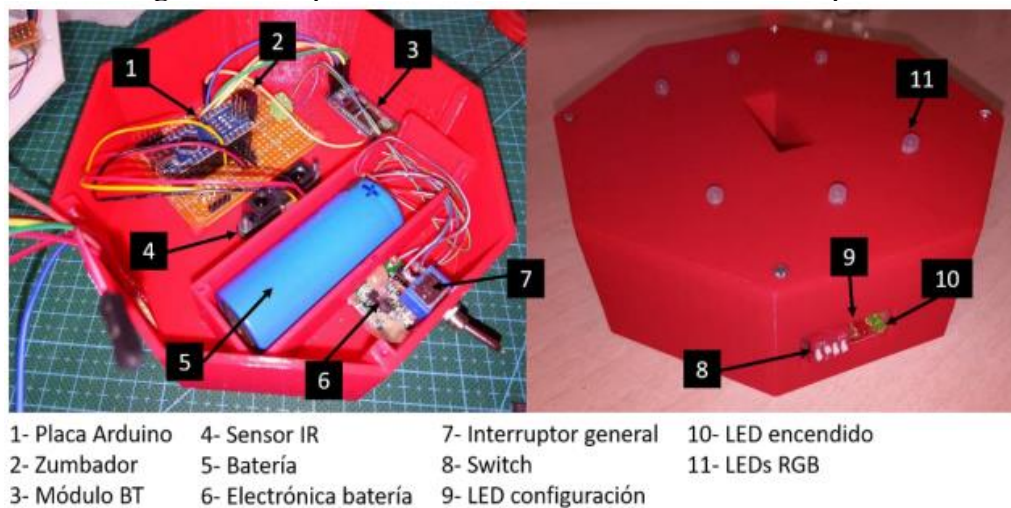
Fonte: Fitlight (2022)

Na literatura, pouco se encontra acerca de trabalhos com o propósito de desenvolver dispositivos semelhantes aos já mencionados, independente do foco de sua aplicação. No entanto, há um trabalho realizado na Espanha, na *Escuela Superior de Ingeniería Industrial, Aeronáutica y Audiovisual de Terrassa* (ESEIAAT), que propôs a criação de um protótipo de



sistema de treinamento físico baseado em Arduino e aplicação móvel (HERNÁNDEZ, 2017). Na Figura 3, é possível visualizar a construção e montagem do dispositivo desenvolvido por Hernández (2017).

**Figura 3 - Dispositivo desenvolvido em trabalho na Espanha**



Fonte: Hernández (2017)

No trabalho de Hernández (2017), a construção do dispositivo tanto em hardware como em firmware se deu de maneira semelhante à forma como foi desenvolvido o objeto de estudo deste trabalho de conclusão de curso. Das semelhanças, podem ser citadas o uso de um microcontrolador, a arquitetura do sistema, um dos protocolos de comunicação (Bluetooth), a construção do invólucro através de impressão 3D e funcionalidades. Porém, este projeto se diferencia por utilizar um microcontrolador mais completo, possibilitando a criação de programas mais complexos, o uso de um protocolo de comunicação mais eficiente entre os dispositivos (ESP-NOW) e funcionamento do sistema independentemente da existência de sinal de rede. Além disso, o sistema proposto se destaca pelo *design* de seu invólucro, que otimiza o seu armazenamento e possui a funcionalidade de recarga de bateria de forma embutida.

## 2.4 Sistemas embarcados

O desenvolvimento do sistema de treinamento proposto neste trabalho contou com o uso de tecnologias acessíveis e de baixo custo, que contribuíram de forma significativa para a implementação das funcionalidades previstas para o equipamento. A parte eletrônica dos dispositivos do protótipo é composta por diferentes componentes eletrônicos, porém o mais

importante, sem dúvida alguma, é o microcontrolador ESP32. Assim, pode-se afirmar que todo o processamento do equipamento se baseia na tecnologia de sistemas embarcados.

Os sistemas embarcados (*Embedded Systems*) são sistemas microprocessados, compostos por hardware e softwares, projetados para executar uma tarefa específica. Muitas vezes, são integrados em outros equipamentos, visando controlar ou monitorar uma função ou um conjunto de funções (SOUZA, 2013). Normalmente, são projetados para serem simples e de baixo custo, composto por microcontroladores, sensores e atuadores. Segundo Pozzebom (2014), os sistemas embarcados podem ser definidos como dispositivos que funcionam como computadores, que contam com memória, processador, interfaces de entrada e saída, porém, com o diferencial que desempenham uma tarefa específica.

Em geral, os sistemas embarcados são compactos e buscam eficiência em termos de consumo energético, lidando com restrições de espaço e de recursos de memória e processamento. Eles podem ser encontrados em inúmeras aplicações, tais como eletrodomésticos (geladeiras, microondas, televisores, *etc.*), automóveis, sistemas de segurança, dispositivos médicos, entre outros.

Diferentes tipos de microcontroladores são encontrados nos sistemas embarcados. Recentemente, com a popularização da Cultura Maker, impulsionada pelo avanço da Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) e do estudo da Robótica, as plataformas Arduino e ESP ganharam bastante destaque, sendo utilizados no desenvolvimento de projetos de diferentes propósitos.

#### 2.4.1 Microcontrolador ESP32

O ESP32 (Figura 4) é um microcontrolador de 32 bits projetado pela empresa chinesa Espressif Systems, lançado em 2016. Ele é baseado em um processador dual-core Xtensa LX6 de 32 bits e é uma versão aprimorada do popular ESP8266.

**Figura 4** - Módulo ESP32



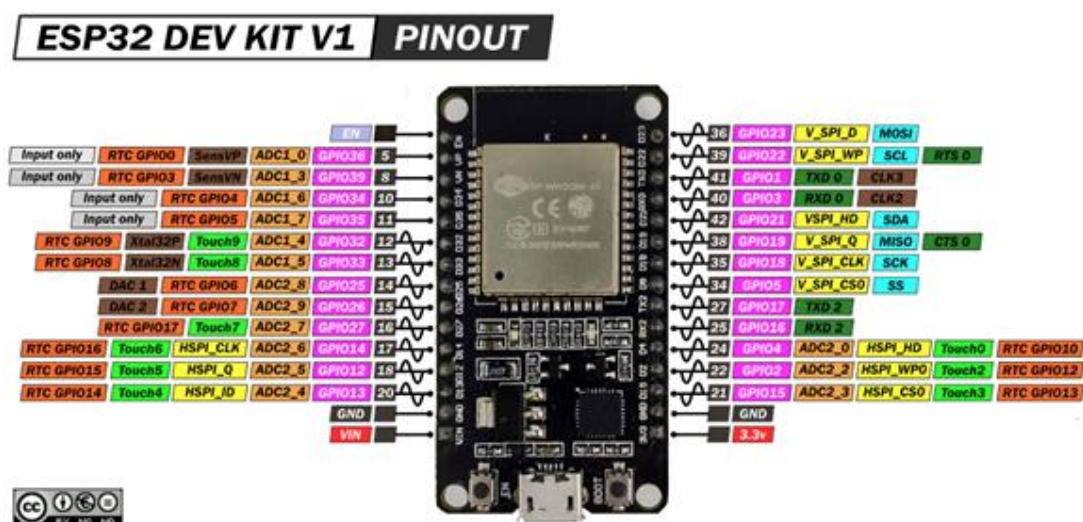
Fonte: FilipeFlop (2022)

Amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT), devido às suas diversas funcionalidades este dispositivo possui conectividade Wi-Fi integrada 802.11 b/g/n, além de Bluetooth v4.2 BR/EDR e BLE, permitindo a comunicação pela internet com protocolos como TCP/IP, HTTP e MQTT. O microcontrolador também apresenta processamento de alto desempenho, graças aos dois núcleos Xtensa LX6 de 32 bits, o que o torna capaz de realizar tarefas complexas de processamento e cálculos matemáticos.

Em termos de memória, é equipado com 520 KB de SRAM e 4 MB de memória flash, permitindo armazenar grandes quantidades de dados e executar aplicativos complexos. O dispositivo também foi projetado com foco em economia de energia, oferecendo opções de gerenciamento de energia flexíveis, incluindo o modo de baixo consumo.

O microcontrolador apresenta uma ampla variedade de interfaces periféricas, incluindo UART, SPI, I2C, I2S, PWM e ADC, permitindo conexões com sensores, atuadores e outros dispositivos. A figura 5 apresenta o diagrama de pinagem da ESP32 de 30 pinos.

**Figura 5** - Pinagem da ESP32



Em resumo, o ESP32 é um microcontrolador de alta capacidade, amplamente utilizado em aplicações de IoT e popular entre fabricantes e entusiastas de eletrônica. Sua versatilidade e recursos avançados tornam-no uma escolha popular para uma ampla variedade de projetos.

## 2.5 Protocolos de comunicação

Os protocolos de comunicação correspondem a um conjunto de regras e procedimentos que definem como os dados são transmitidos e recebidos pelos diferentes dispositivos em uma

rede de comunicação. Essas regras detalham como os dados são codificados, como as conexões são estabelecidas e finalizadas, como os erros são tratados, como os dispositivos são endereçados, entre outros. Mais adiante, neste trabalho, serão apresentados maiores detalhes de como os dispositivos que compõem o sistema proposto se comunicam e como o aplicativo móvel utilizado para configurar o sistema e executar treinamentos é capaz de enviar comandos e receber informações do equipamento.

O protocolo de comunicação ESP-NOW, é um protocolo desenvolvido pela *Espressif* que permite a conexão de vários dispositivos entre si, sem utilizar a rede Wi-Fi padrão. Este é um protocolo de comunicação M2M (*Machine To Machine*), que permite a conexão sem fio direta, ponto a ponto, de baixa latência entre dispositivos ESP8266 e ESP32. Esse protocolo pode ser utilizado para diversas funcionalidades, tais como: controle sem fio remoto de dispositivos, automação residencial, monitoramento de sensores, tudo isso sem a necessidade de um roteador ou um ponto de acesso sem fio (MARQUES, 2020). O protocolo ESP-NOW possui um alcance que pode variar dependendo de fatores como a potência de transmissão, sensibilidade do receptor e possíveis interferências. Em Geral, o alcance máximo pode chegar a mais de 300 metros em espaços abertos, mas pode diminuir consideravelmente em ambientes fechados. Foi adotado neste trabalho para permitir a troca de informações no modelo mestre-escravo entre os dispositivos que compõem o sistema de treinamento funcional proposto.

**Figura 6** – Representação de uso do protocolo ESP-NOW



Fonte: Getting (2023)

O ESP-NOW não foi o único protocolo de comunicação utilizado por este trabalho, sendo também empregado o Bluetooth, pois o mesmo representa uma tecnologia versátil e confiável que se encontra presente nativamente nos microcontroladores ESP32 e em muitos dispositivos eletrônicos da atualidade. Segundo Alecrim (2021), Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fio que permite que computadores, celulares, tablets, TV's e afins troquem

dados entre si e se conectem a mouses, teclados, fone de ouvido, caixas de som, impressoras e outros dispositivos por meio de ondas de rádio. A ideia é permitir que esses aparelhos se interliguem de forma rápida, descomplicada e sem uso de cabos, bastando que um esteja próximo do outro. De uma forma mais genérica, o Bluetooth é um padrão global de comunicação sem fio e de baixo consumo de energia que permite a transmissão de dados entre dispositivos. Uma combinação de *hardware* e *software* é utilizada para permitir que esse procedimento ocorra entre os mais variados tipos de aparelhos.

**Figura 7** – Logotipo do protocolo Bluetooth



Fonte: Infowester (2021)

A transmissão de dados utilizando o protocolo Bluetooth acontece por meio de radiofrequência, característica que permite que um dispositivo detecte o outro independente de suas posições físicas, sendo necessário apenas que ambos estejam dentro de um limite de proximidade. Para que seja possível atender aos variados tipos de dispositivos, o alcance máximo do Bluetooth é dividido em três classes principais:

- **Classe 1** – Potência máxima de 100 mW, alcance de até 100 metros;
- **Classe 2** – Potência máxima de 2,5 mW, alcance de até 10 metros;
- **Classe 3** – Potência máxima de 1 mW, alcance de até 1 metros.

### **3 MÉTODOS, TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Como explicado nas seções iniciais deste documento, a proposta deste trabalho de conclusão de curso inclui a criação e desenvolvimento de um sistema de hardware, composto por um microcontrolador ESP32, sensores, LEDs e sistema de alimentação, que seja capaz de auxiliar na realização de treinamentos funcionais. Assim, pretende-se aliar o uso da tecnologia com a realização de atividades físicas, tornando-a ainda mais atrativa.

Este capítulo aborda o desenvolvimento de cada parte do protótipo, que abrange o desenvolvimento do hardware, a elaboração do software/firmware e a descrição das rotinas de treinos utilizadas.

#### **3.1 Desenvolvimento da plataforma de hardware do protótipo**

O hardware do protótipo compreende todas as partes palpáveis do mesmo que vão desde o projeto e confecção do invólucro até o esquema elétrico e arranjo interno dos componentes. O intuito desta seção é discorrer com detalhes sobre o projeto e construção de todo o hardware do sistema proposto por este trabalho de conclusão de curso.

Para entender sobre a utilidade do protótipo proposto no auxílio na realização de treinamentos de agilidade e velocidade de reação, assim como compreender a escolha por utilizar certos componentes que o compõe, vale discorrer brevemente a forma como esses treinamentos ocorrem. O usuário ao conectar um dispositivo móvel (celular ou *tablet*) a qualquer um dos módulos do sistema, é estabelecida uma conexão mestre-escravo entre dispositivo móvel e este módulo. Com essa conexão, o usuário pode dar início à execução de um treinamento, que consiste em estímulos luminosos ou sonoros, os quais devem ser respondidos pelo usuário, por meio de movimentos. A sequência e duração desses estímulos, assim como o tipo de treinamento a ser realizado, podem ser pré-configuradas pelo próprio usuário.

##### **3.1.1 Projeto e confecção do invólucro**

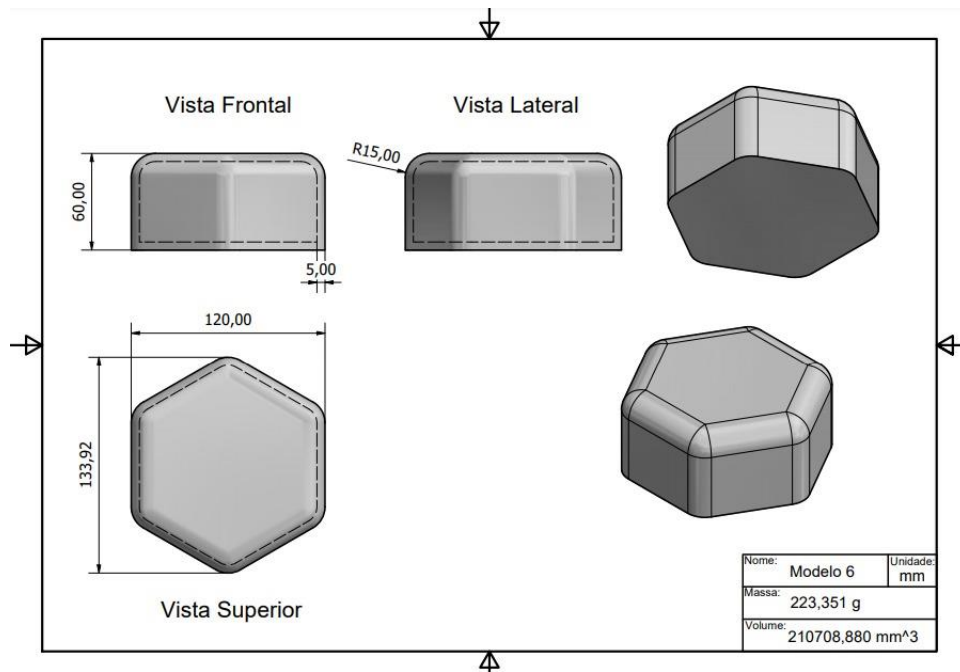
O invólucro é uma das principais partes inerentes à construção do protótipo, isso se deve ao fato de que o mesmo deve atender todas as necessidades especificadas pelo *hardware*, como espaçamentos adequados para acoplagem dos circuitos internos e dos seus respectivos módulos de interação localizados nas faces adjacentes ao mesmo.



Para a sua construção, considerando os aspectos funcionais e estéticos, optou-se pelo desenvolvimento de um invólucro em formato hexagonal, conforme ilustrado na Figura 8. Esta geometria facilita a acoplagem de sensores e módulos em sua superfície, pois no caso de um invólucro circular, a angulação das suas faces dificultaria a anexação dos dispositivos necessários (que são módulos dispostos em placas PCB planas), demandando assim, a necessidade de mecanismos extras de fixação. Tendo em vista que o formato hexagonal não interfere no funcionamento final do protótipo, o formato escolhido mostrou-se bastante acessível.

O desenvolvimento do projeto foi realizado com o auxílio do *software Autodesk Inventor*, o qual dispõe de várias ferramentas úteis para modelagem tridimensional com a possibilidade de criação de desenhos técnicos detalhados. Sendo assim o, mesmo corresponde a uma poderosa ferramenta de modelagem 3D e projeto paramétrico, tornando-se bastante adequado para o propósito deste trabalho.

**Figura 8** – Modelo inicial e formato do invólucro



Fonte: Autoria própria (2022)

No decorrer da execução e confecção dos invólucros através de impressão 3D, foram realizadas alterações a fim de aprimorá-lo e facilitar a acoplagem de outros componentes adicionados durante o desenvolvimento do projeto. Dentre estas alterações podemos citar como as mais significativas: suporte de fixação para o display OLED, localizado na lateral do

dispositivo, suporte para fixação do sensor ultrassônico na base superior do protótipo e o suporte de fixação do módulo de carregamento na lateral da base superior.

A Figura exibe a parte superior do invólucro, onde fica visível duas estruturas adicionadas após inserções de novos dispositivos ao projeto do circuito interno. Os destaques aqui apresentados estão na furação da parte superior que é utilizada para a acoplagem do sensor ultrassônico HC-SR04, que é responsável por verificar as interações com o usuário, e, na parte lateral inferior, pode-se visualizar uma discreta abertura que é utilizada para acomodar o *display* OLED, onde serão exibidas informações importantes sobre o estado de conexão dos dispositivos e detalhes dos treinos a serem executados, além claro, de outras informações complementares como o nível de bateria do aparelho.

**Figura 9** - Parte superior do invólucro com destaque para a furação do sensor de distância e do display OLED



Fonte: Autoria própria (2022)

Enquanto a parte superior do invólucro é a parte mais espçosa, onde quase todos os componentes dos dispositivos são posicionados, a parte inferior age como uma tampa capaz de vedar o invólucro. Na parte inferior, localizam-se as baterias que alimentam os circuitos internos e garantem o pleno funcionamento do dispositivo. A Figura 10 apresenta a parte inferior do invólucro. Nota-se, na figura, uma pequena abertura retangular, a qual foi projetada para acoplagem o botão liga/desliga do protótipo, que é voltado para baixo com o objetivo de ficar visualmente oculto quando o sistema estiver em funcionamento.



**Figura 10** - Parte inferior do invólucro



Fonte: Autoria própria (2022)

Um dos detalhes de projeto do invólucro é o formato que permite que os dispositivos que compõem o sistema de treinamento proposto sejam empilhados um sobre o outro, facilitando o armazenamento e transporte. O material utilizado para confecção do protótipo é o PLA (biopolímero de ácido polilático), muito comum em trabalhos com impressora 3D, por ser de baixo custo e possuir uma alta durabilidade.

### **3.1.2 Componentes utilizados**

Dentre os processos desenvolvidos para a execução deste trabalho, uma importante etapa foi a seleção dos componentes a serem utilizados a fim de cumprir os requisitos funcionais pensados para o dispositivo. Deve-se destacar, que um dispositivo utilizado em treinamentos de velocidade de reação ou agilidade necessita de uma interação com o usuário. Para isso, fez-se necessário o uso de sensores, atuadores e um controlador, para que rotinas possam ser definidas e executadas.

#### **3.1.2.1 Sensores**

Um dos sensores utilizados, é o sensor HC-SR04. Trata-se de um sensor de distância ultrassônico, capaz de medir distância com ótima exatidão e rápida taxa de resposta. O funcionamento deste módulo basicamente se dá por meio de um emissor de ondas sonoras e um receptor. Dessa forma, o sensor emite uma onda sonora, que ao encontrar um obstáculo, retorna ao módulo o tempo decorrido entre a emissão e a recepção do eco, o qual é utilizado para

determinar a distância do objeto. No dispositivo de treinamento proposto por este trabalho, este é a principal forma de detecção de movimentos de seus usuários.

**Figura 11** - Sensor de distância Ultrassônico HC-SR04



Fonte: FilipeFlop (2023)

Uma forma adicional pensada para detecção de movimentos foi a de utilizar um sensor de vibração, a fim de detectar toques no invólucro, porém os testes não foram satisfatórios para a aplicação. Nos testes, foram utilizados tanto o sensor de vibração SW-420, quanto um módulo piezoelétrico. Não havendo resultados satisfatórios na detecção de vibração e toque com esses sensores no protótipo desenvolvido, decidiu-se utilizar apenas o sensor HC-SR04 para detecção de movimentos.

### 3.1.2.2 Atuadores

Os atuadores utilizados neste projeto são componentes essenciais para a funcionalidade do dispositivo de treinamento funcional. Os LEDs RGB e o *buzzer* são responsáveis por fornecer estímulo visual e sonoro aos usuários durante o treinamento.

Os LEDs RGB utilizados neste projeto foram do modelo com catodo comum, ou seja, o terminal negativo é compartilhado pelos três diodos emissores de luz que compõem o LED. Para acionar cada um dos diodos emissores de luz, foi necessário aplicar uma tensão positiva ao terminal correspondente (R para o diodo vermelho, G para o diodo verde e B para o diodo azul). A conexão dos LEDs RGB foi realizada em série, sendo 2 séries com 3 LEDs cada, com a polaridade correta respeitada, e foram conectados ao microcontrolador ESP32 através de um pino analógico por cor.

O *buzzer* ativo utilizado foi do tipo piezoelétrico, com uma frequência de ressonância de 4kHz e uma tensão de operação de 5V. Foi conectado ao ESP32 através de um pino digital e programado utilizando a biblioteca *Tone*. Através da programação, foi possível definir a frequência e a duração de cada som emitido pelo *buzzer*, permitindo a criação de diferentes tipos de alertas sonoros durante o treinamento.

Para testar os atuadores, foram realizados experimentos de funcionamento em diferentes cenários de uso, simulando situações de treinamento. Durante os testes, foram avaliados a exatidão, a intensidade e a duração dos efeitos visuais e sonoros emitidos pelos LEDs RGB e *buzzer* ativo, além de sua resposta a comandos específicos do dispositivo.

Os resultados dos testes mostraram que os atuadores utilizados no dispositivo de treinamento funcional baseado em ESP32 foram capazes de fornecer um estímulo visual e sonoro adequado para as diferentes situações de treinamento simuladas, demonstrando eficiência em sua aplicação.

### **3.1.2.3 Controladores**

O controlador utilizado no sistema ATP é o microcontrolador ESP32. Ele é uma placa com um chip ESP32 da *Espressif Systems*, que possui um processador dual-core Xtensa LX6, conectividade Wi-Fi e Bluetooth, além de diversos outros recursos.

O ESP32 é uma ótima opção para projetos que exigem conectividade sem fio e processamento de dados em tempo real, como é o caso do sistema ATP. Ele permite a implementação do protocolo ESPNOW para a comunicação sem fio entre os dispositivos, além de fornecer capacidade de processamento suficiente para realizar as tarefas necessárias, como processamento dos sinais do sensor ultrassônico e controle dos atuadores.

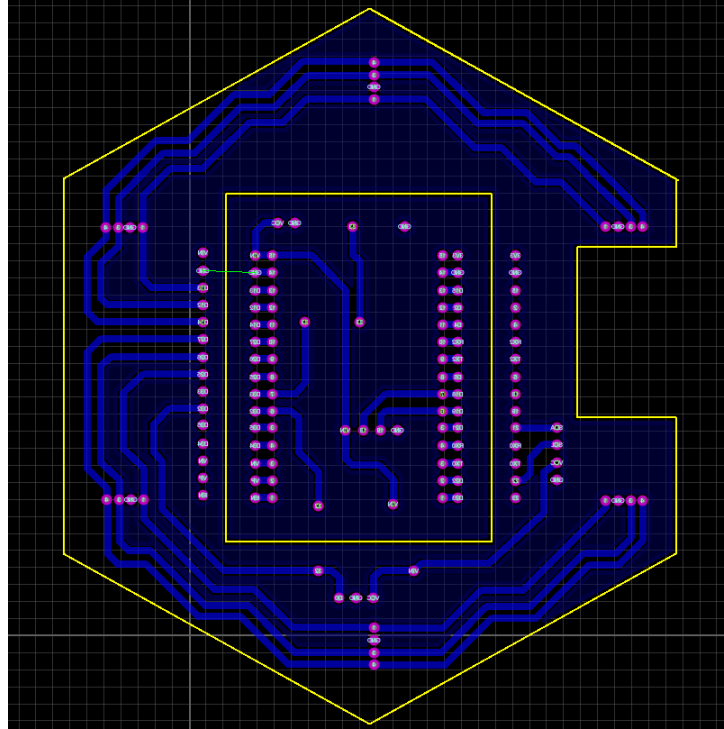
Para o desenvolvimento do programa, foi utilizada a IDE do Arduino e a extensão "*Arduino for Visual Studio Code*" para a programação dos microcontroladores ESP32. O protocolo de comunicação utilizado entre os dispositivos é o ESPNOW, enquanto a comunicação entre o dispositivo móvel e o dispositivo mestre é realizada através do protocolo *Bluetooth*.

### **3.1.3 Projeto e confecção do circuito e placa PCB**

Um recurso muito utilizado no meio da prototipagem eletrônica é a confecção de placas PCI ou placas de circuito impresso. As vantagens de se fixar componentes na superfície de uma placa como essas são muitos, mas as principais são a confiabilidade das conexões e a possibilidade de redução do tamanho do circuito. A seguir, as figuras 12 e 13 ilustram o projeto de PCI desenvolvido para ser utilizado no projeto. Essa placa é responsável por abrigar os componentes eletrônicos e estabelecer as conexões necessárias para o funcionamento adequado do dispositivo. As figuras apresentam uma representação visual da placa, evidenciando a

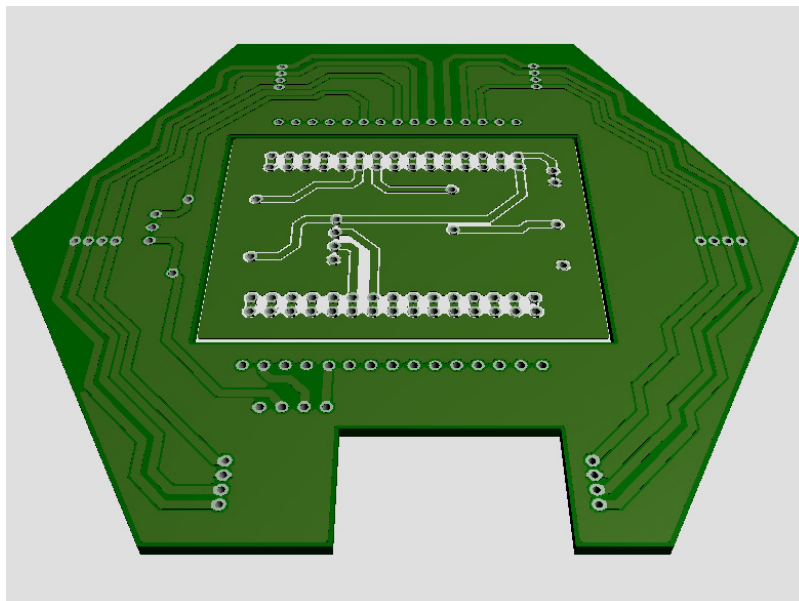
furação para que sejam dispostos os componentes e as trilhas de cobre que permitem a interconexão entre eles.

**Figura 12 - PCI elaborada**



Fonte: Autoria própria (2022)

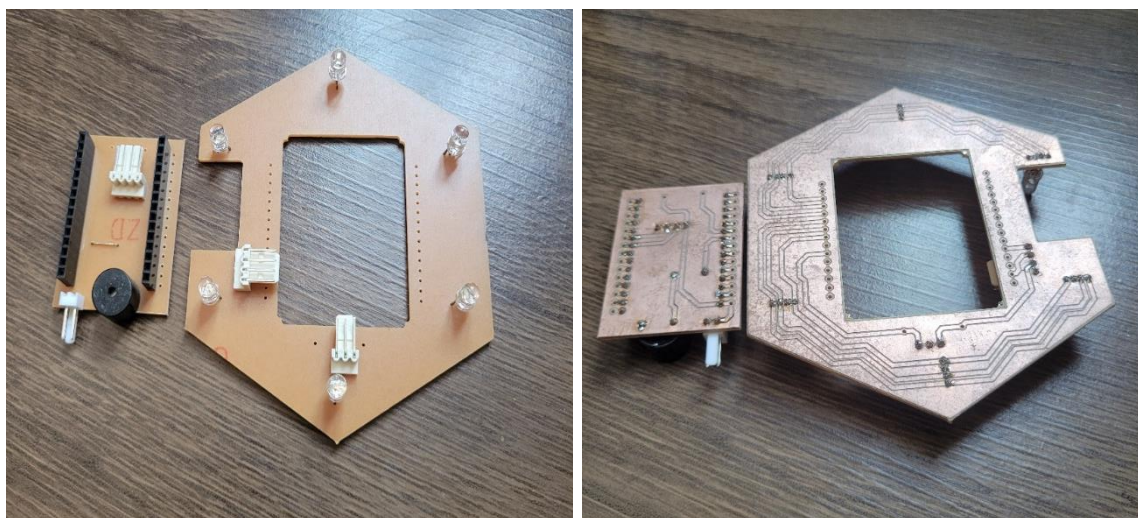
**Figura 13 - Representação 3D da PCI**



Fonte: Autoria própria (2022)

A figura a seguir, apresenta a execução do projeto de PCI, sendo esta figura dividida em duas imagens, onde essas imagens mostram a placa de fenolite, onde foram realizadas as devidas trilhas e furos conforme o projeto desenvolvido. A primeira imagem destaca alguns componentes e conectores já soldados à placa. Já a segunda imagem apresenta as trilhas desenhadas na placa, ilustrando o processo de fabricação da PCI e evidenciando a precisão e o cuidado na sua execução.

**Figura 14 - Vistas superior e inferior da PCI executada**



Fonte: Autoria própria (2022)

## 3.2 Desenvolvimento do software e do firmware

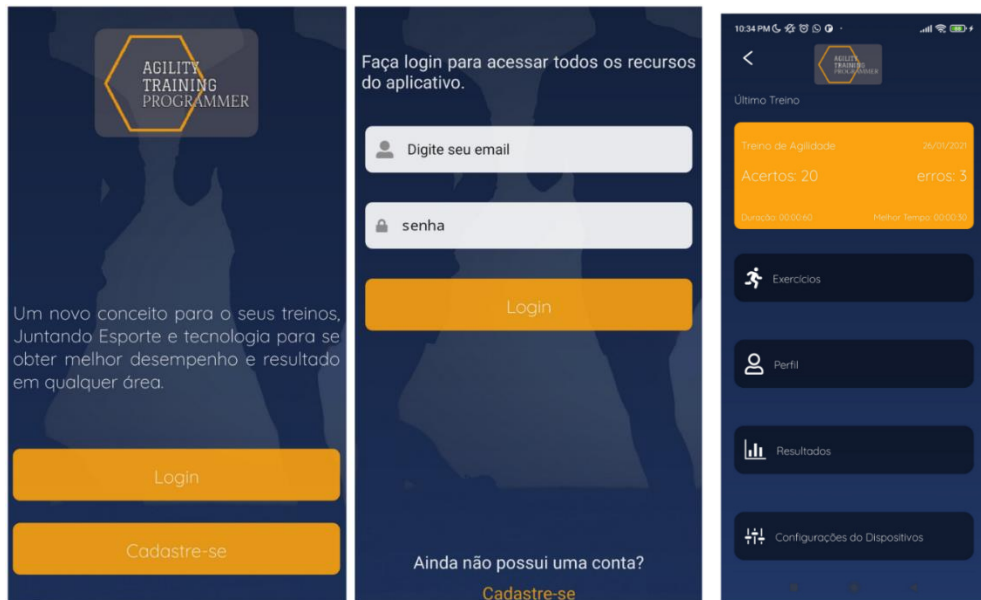
### 3.2.1 Desenvolvimento do software

O *software* desenvolvido para este trabalho é o aplicativo *mobile* “ATP-MANAGER”, desenvolvido para o sistema operacional Android durante as atividades de pesquisa, consistindo de um aplicativo de interface amigável, fácil interação para configuração e utilização do equipamento de treinamento funcional.

No aplicativo é possível cadastrar e gerenciar usuários, configurações de treino e de dispositivos, controlar treinamentos, além de visualizar e gerenciar resultados de treinamentos realizados conforme mostrado na figura 15. Como já mencionado na sessão de introdução, o software foi desenvolvido por Silva (2021), no trabalho **ATP-MANAGER: aplicação mobile com dashboard web para gerenciamento de dispositivo para treinamento de velocidade de reação e agilidade**, tão logo, é mérito deste e não corresponde a um objetivo específico deste trabalho de conclusão de curso.



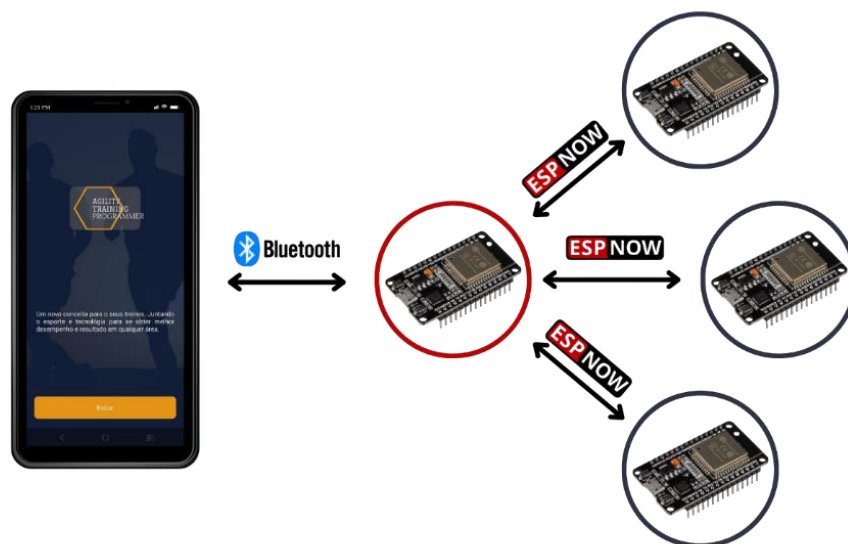
**Figura 15** – Telas Iniciais e Tela Principal do aplicativo.



Fonte: Silva (2021).

Antes de adentrar na análise do firmware, é importante destacar a arquitetura de comunicação adotada neste trabalho. A Figura 16 ilustra a estrutura de comunicação utilizada, onde a interação entre as ESP32 é realizada por meio do protocolo ESPNOW. Além disso, a comunicação entre o dispositivo mestre e o dispositivo móvel é estabelecida via Bluetooth.

**Figura 16** – Arquitetura de Comunicação.



Fonte: Autor (2022).

A comunicação entre as ESP32, é estabelecida de forma eficiente e confiável através do protocolo ESPNOW. Esse protocolo permite a troca de dados e comandos entre os dispositivos, garantindo uma comunicação robusta mesmo em ambientes sem redes Wi-Fi disponíveis.

A arquitetura de comunicação adotada, utilizando o protocolo ESPNOW para a interação entre as ESP32 e o Bluetooth para a comunicação com o dispositivo móvel, demonstra a flexibilidade e a adaptabilidade do protótipo ATP. Essa abordagem permite uma comunicação eficiente entre os diferentes componentes do sistema, garantindo um treinamento de velocidade de reação e agilidade fluido e preciso.

### **3.2.2 Considerações sobre o firmware**

O *firmware* desempenha um papel essencial no funcionamento do protótipo ATP, sendo responsável por controlar o hardware e permitir a comunicação entre os dispositivos. Um aspecto importante a ser considerado é a sua versatilidade, pois o firmware desenvolvido pode ser utilizado tanto para o dispositivo principal (mestre) quanto para os dispositivos adicionais (escravos).

A modularidade e a escalabilidade do firmware são características que permitem a adição de novas funcionalidades e dispositivos ao protótipo. O firmware é desenvolvido de forma modular, facilitando a integração de diferentes funcionalidades e permitindo atualizações e modificações futuras do sistema.

Em resumo, o firmware desenvolvido para o ATP é versátil, podendo ser utilizado tanto para o dispositivo principal quanto para os dispositivos adicionais. Sua compatibilidade com o ESP32, escalabilidade e suporte são considerações fundamentais para garantir o funcionamento eficiente, estável e confiável do protótipo.

### **3.2.3 Implementações de rotinas de treino e testes de utilização**

Durante o desenvolvimento do protótipo ATP, foram realizadas implementações das rotinas de treino para treinamento de velocidade de reação e agilidade. As rotinas foram projetadas levando em consideração a diversidade de exercícios e atividades físicas funcionais, proporcionando estímulos adequados aos usuários.

As implementações das rotinas de treino foram bem-sucedidas, permitindo ajustes personalizados de intensidade, tempo de execução e intervalos de descanso. Os dispositivos de *feedback*, como os LEDs e os sinais sonoros, foram programados para fornecer informações claras e imediatas aos usuários, facilitando o acompanhamento e a resposta aos estímulos durante o treinamento.

Após a implementação das rotinas de treino, foram realizados testes de utilização com usuários reais. Esses testes permitiram avaliar a eficácia e usabilidade do protótipo ATP. Os resultados foram positivos, com os usuários relatando uma experiência de treinamento satisfatória.

Essas implementações e testes de utilização desempenham um papel fundamental no aprimoramento contínuo do protótipo ATP, permitindo futuras interações e desenvolvimento do sistema. Com base no *feedback* dos usuários, é possível identificar áreas de melhoria e realizar ajustes para garantir a qualidade e a satisfação dos usuários durante o treinamento.

Em suma, as implementações bem-sucedidas das rotinas de treino e os resultados positivos dos testes de utilização validam o desenvolvimento do protótipo ATP. Essas etapas são essenciais para garantir a funcionalidade, a usabilidade e a eficácia do sistema no treinamento de velocidade de reação e agilidade. Os resultados obtidos fornecem uma base sólida para a continuidade do projeto e para incentivar o uso de tecnologia na prática de atividades físicas no IFPB.

#### **4 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A análise de resultados sobre o desenvolvimento deste projeto tem como importante meta explicar sobre o atendimento dos objetivos gerais e específicos propostos inicialmente e argumentar sobre a viabilidade de desenvolvimento prático dos protótipos para fins recreativos ou comerciais.

Para a elaboração da estrutura física do protótipo, foram utilizadas diferentes tecnologias diferentes para a obtenção do resultado final esperado, como impressão 3D, prototipagem de placas de circuito impresso e integração eletrônica entre módulos de desenvolvimento. Por se tratar de um modelo iniciado do zero, realizou-se um estudo mais aprofundado sobre as partes necessárias para que o dispositivo apresentasse funcionamento adequado. Além disso, foi levado em consideração que o equipamento proposto fosse suficientemente versátil e móvel, neste sentido, o equipamento em sua versão final constava com cerca de 300 gramas. Um ponto relevante foi que os primeiros modelos desenvolvidos possuíam um número elevado de peças, como uma pequena tampa para o sensor ultrassônico e



alguns alongadores, que faziam a junção das partes de cima e de baixo com a PCI, o que dificultava a montagem, podendo afetar a sua resistência. Após mudanças realizadas no projeto o dispositivo passou a ser composto por apenas duas peças maiores, fixadas com parafusos, porcas e algumas travas desenvolvidas também em impressão 3D. Dessa forma, todas as peças internas eram alocadas de forma mais seguras e fáceis, deixando o dispositivo funcional. Outra alteração importante no invólucro, foi a curva na base e na tampa dos dispositivos, a fim de que os mesmos possam se encaixar, adequando a alocação e transporte dos dispositivos.

Os custos para produção de um único módulo compreendem dois principais ramos: a impressão das estruturas com auxílio da técnica de impressão 3D e a aquisição dos componentes necessários para a confecção da placa de circuito impresso e montagem dos módulos internos. A Tabela 1 mostra os custos relacionados à modelagem 3D utilizada para a confecção dos invólucros. Nela estão relacionados os custos aproximados por gramas de material de impressão utilizado, levando como base, para tal, o preço de aquisição de 1 Kg do filamento do tipo PLA adquirido, com o mesmo tendo custado R\$ 120,00 na data de sua aquisição. Por sua vez, este valor foi utilizado como base para os cálculos relacionados ao custo das peças confeccionadas. Outro fator importante para a análise dos dados apresentados na Tabela 1 é sobre o preço do quilowatt hora (KWh), como são peças que demandam de horas para a realização completa de sua impressão, é necessário o uso contínuo da impressora 3D até a sua conclusão. Com base na potência elétrica deste equipamento e no custo do KWh (que na data da impressão custava R\$ 0,75) foi possível calcular e apresentar os custos relacionados à eletricidade.

**Tabela 1** - Custos de produção das peças do invólucro

| PEÇA               | TEMPO DE IMPRESSÃO (min) | MASSA ESTIMADA (g) | TEMPO DE IMPRESSÃO (h) | CUSTO COM MATERIAL (RS) | CUSTO COM ENERGIA (RS) | QTD          | CUSTO TOTAL POR PEÇA (RS) |
|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|---------------------------|
| BASE               | 252                      | 47,00              | 4,20                   | R\$ 5,64                | R\$ 0,95               | 1            | R\$ 6,59                  |
| TOPO               | 527                      | 87,00              | 8,78                   | R\$ 10,44               | R\$ 1,99               | 1            | R\$ 12,43                 |
| TRAVA P/ ULTRASSÔN | 4                        | 1,00               | 0,07                   | R\$ 0,12                | R\$ 0,02               | 1            | R\$ 0,14                  |
| TRAVA DISPLAY OLEI | 9                        | 1,00               | 0,15                   | R\$ 0,12                | R\$ 0,03               | 1            | R\$ 0,15                  |
| TRAVA PCB          | 5                        | 1,00               | 0,08                   | R\$ 0,12                | R\$ 0,02               | 2            | R\$ 0,28                  |
|                    |                          |                    |                        |                         |                        | <b>TOTAL</b> | R\$ 19,59                 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Com os custos de produção do invólucro definidos entra em cena os demais componentes utilizados para a confecção do dispositivo. Estes dispositivos por sua vez compreendem toda a parte eletrônica, entre módulos e componentes. Um ponto importante aqui

a se citar é sobre a PCB. Neste caso, a confecção foi realizada com o auxílio dos equipamentos cedidos pelo IFPB - *Campus Cajazeiras*. Assim, os custos necessários para a confecção das PCBs limitaram-se à aquisição das placas fenolites utilizadas como superfície de impressão. Existem empresas especializadas em impressão de placas de circuito impressos, cujo custo da operação depende de vários fatores, como tamanho e complexidade. A placa PCB aqui proposta é de baixa complexidade e sua confecção em uma dessas empresas especializadas não iria alterar consideravelmente o custo final de produção do dispositivo. Porém, é importante o leitor ficar ciente desta informação ao considerar o valor final de produção por unidade aqui proposto. A Tabela 2 exibe o custo total de produção por módulo do equipamento, bem como, a lista de materiais utilizados para a confecção do mesmo.

O item marcado com “Materiais de montagem”, assinalado na Tabela 2, compreende itens menores que são utilizados para realizar a montagem dos dispositivos e circuitos, como cabos flexíveis, conectores e material de soldagem. Por serem itens menores de importância reduzida em relação aos demais componentes, optou-se por resumi-los em uma única linha descritiva para melhor visualização e entendimento.

**Tabela 2** - Lista final de produtos utilizados na confecção de cada dispositivo

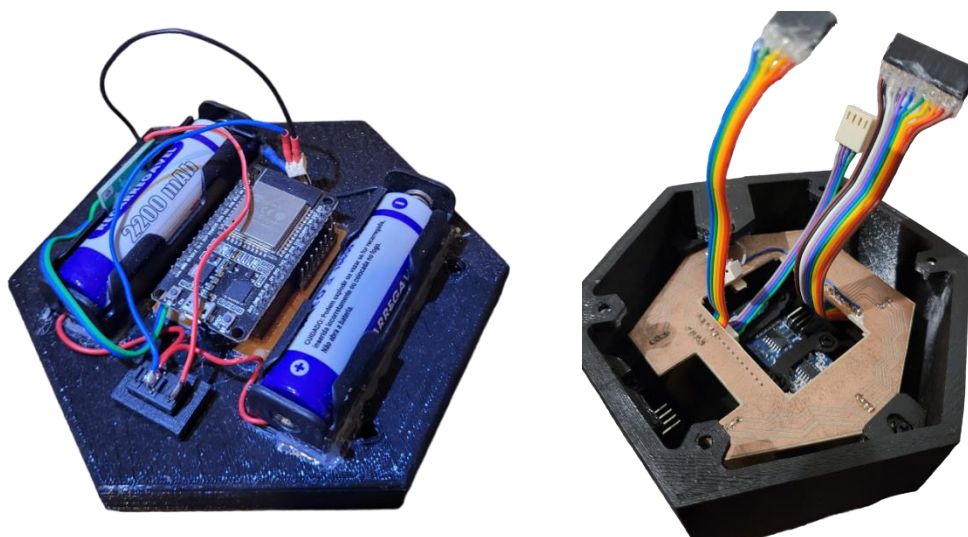
| ITEM                           | QUANTIDADE POR INVÓLUCRO: | CUSTO POR UNIDADE: | CUSTO POR INVÓLUCRO: |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| Barra de pinos Fêmea           | 2                         | R\$ 0,65           | R\$ 1,30             |
| Bateria de Lítio               | 2                         | R\$ 10,99          | R\$ 21,98            |
| Buzzer 5v                      | 1                         | R\$ 1,50           | R\$ 1,50             |
| Cabo USB p/ Carregador         | 1                         | R\$ 9,99           | R\$ 9,99             |
| Carregador de Bateria de Lítio | 1                         | R\$ 3,99           | R\$ 3,99             |
| Chave on/off                   | 1                         | R\$ 0,38           | R\$ 0,38             |
| ESP32                          | 1                         | R\$ 54,90          | R\$ 54,90            |
| LED RGB (alto brilho)          | 6                         | R\$ 0,60           | R\$ 3,60             |
| OLED                           | 1                         | R\$ 27,99          | R\$ 27,99            |
| Sensor Ultrassônico            | 1                         | R\$ 10,90          | R\$ 10,90            |
| Placa fenolite                 | 1                         | R\$ 8,33           | R\$ 8,33             |
| Materiais de Montagem*         | 1                         | R\$ 5,00           | R\$ 5,00             |
| Impressão 3D                   | 1                         | R\$ 19,59          | R\$ 19,59            |
|                                |                           | <b>TOTAL:</b>      | <b>RS 169,45</b>     |

Fonte: Autoria própria (2022)

Após a finalização dos dispositivos foi iniciada a fase de testes, que contou com avaliações das rotinas de treinamento propostas e da qualidade geral do produto. O módulo mostrou-se com resistência aceitável no que diz respeito à sua montagem, que se mostrou firme

e suficientemente resistente à balanços ou movimentos bruscos. Já com relação à bateria e tempo de uso, foi alcançado um resultado bem satisfatório, visto que o dispositivo possui duas células de baterias de lítio, conforme ilustrado na figura 17, totalizando cerca de 4400mAh. Com essa capacidade e o baixo consumo de energia do dispositivo, é possível realizar rotinas de treinos exigentes por algumas horas sem que seja necessário realizar uma nova carga completa do mesmo.

**Figura 17** – Disposição dos componentes na parte interior do invólucro



Fonte: Autor (2023).

A figura a seguir ilustra o dispositivo em funcionamento, mostrando sua estrutura e design ergonômico. Essas fotos demonstram o resultado prático do trabalho desenvolvido, evidenciando a robustez do dispositivo e sua capacidade de suportar o uso prolongado em treinamentos de alta intensidade.

**Figura 18** – Dispositivo ATP em funcionamento



Fonte: Autor (2023).

Um dos principais objetivos propostos foi o desenvolvimento de um firmware funcional para os dispositivos do protótipo ATP. O firmware desenvolvido se mostrou uma ferramenta

versátil e indispensável, trabalhando em conjunto com o aplicativo móvel para garantir o seu adequado funcionamento. Graças ao firmware implementado, os dispositivos do protótipo ATP foram capazes de executar as rotinas de treino específicas, garantindo a interação adequada entre os elementos do sistema. O firmware foi projetado para garantir a comunicação eficiente entre os dispositivos, independentemente da existência de redes Wi-Fi, proporcionando uma experiência de treinamento confiável. A fim de ilustrar parte dos códigos de firmware desenvolvidos, a figura 19 exibe algumas das variáveis utilizadas no protocolo ESPNOW, podendo considerar como as principais a variável que define se o dispositivo é Mestre ou Escravo, e a variável que armazena os endereços das ESP32, de modo a permitir a comunicação.

**Figura 19** – Trecho de código relacionado aos protocolos de comunicação

```

48 // VARIÁVEIS DEFINIDAS EM "struct_treino" DENTRO DE "structs.h"
49
50 // PROTOCOLO ESP-NOW
51 int mestre = -1;
52 byte mac[6];
53 char macStr_copy[18];
54 uint8_t mac_mestre[10][6] = {};
55
56 uint8_t broadcastAddress[][6] = {
57     // MAC Address's para comunicação ESP NOW
58     {0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF} // TODO MUNDO "0"
59 };
60
61 esp_now_peer_info_t peerInfo;
62
63 int destino = 0; // Variável que define o destino da mensagem
64 int code_struct; // Variável que define o conteúdo da mensagem
65
66 // PROTOCOLO BLUETOOTH
67
68 String ID_bluetooth;
69 BluetoothSerial SerialBT; // Variável da comunicação Bluetooth
70

```

Fonte: Autor (2023)

## 5 CONCLUSÃO

Em conclusão, o desenvolvimento do protótipo de baixo custo para treinamento de velocidade de reação e agilidade baseado em ESP32 foi bem-sucedido na consecução de seus objetivos. A integração entre hardware e firmware demonstrou ser eficiente, possibilitando a execução de rotinas de treino específicas e a comunicação sem fio entre os dispositivos.

O protótipo ATP representa uma abordagem inovadora no campo do treinamento funcional, incentivando o uso da tecnologia como ferramenta para estimular a prática de

atividades físicas. Sua versatilidade e escalabilidade permitem sua aplicação em diferentes contextos, abrindo caminho para futuros desenvolvimentos e aprimoramentos.

Os resultados alcançados comprovam o potencial da tecnologia para melhorar o treinamento físico, tornando-o mais acessível e motivador. Além disso, o projeto contribuiu para a promoção de uma abordagem mais dinâmica e moderna no campo das atividades físicas. Com base nesses resultados promissores, pretende-se continuar explorando as possibilidades de aprimoramento do protótipo ATP, buscando expandir sua aplicação e aprofundar os estudos nessa área. Espera-se que essa solução inspire outras pesquisas e contribua para o avanço do conhecimento no campo do treinamento esportivo.

No geral, considera-se que o desenvolvimento desse protótipo representa um passo significativo na convergência entre tecnologia e atividade física, proporcionando benefícios tanto no âmbito acadêmico quanto no social. Através do uso de recursos tecnológicos acessíveis, é possível impulsionar a prática de exercícios e promover uma vida mais saudável e ativa.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINIS-SOBRINHO, César A.; VILAN, Katiane. **Pressão Arterial em Crianças. O Papel Fundamental da Atividade Física e da Gordura Corporal.** Arquivos Brasileiros de Cardiologia, [S.L.], v. 116, n. 5, p. 957-958, maio de 2021. Sociedade Brasileira de Cardiologia. <http://dx.doi.org/10.36660/abc.20210117>.

ALECRIM, Emerson. **Bluetooth: o que é, como funciona e versões. o que é, como funciona e versões.** 2021. Disponível em: <https://www.infowester.com/bluetooth.php#:~:text=Bluetooth%20%C3%A9%20uma%20tecnologia%20de,meio%20d>. Acesso em: 13 jun. 2022.

ANTUNES, Bianca Siqueira; BIANCO, Roberto; LIMA, Wilson Pereira. **TREINAMENTO FUNCIONAL: conceitos e benefícios.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento: Educação Física, [S. L.], v. 8, n. 6, p. 69-80, jun. 2020.

BLAZEPOD. **BlazePod - Follow your instincts: reach true excellence with the world's leading pro-level flash-reflex training system for everyone!** Disponível em: <<https://www.blazepod.com/>>. Último acesso em: 12 de maio de 2022.

BOMPA, Tudor O.; HAFF, G. Gregory. **Periodização: teoria e metodologia do treinamento.** 4. ed. São Paulo: Phorte, 2012.

BOSSI L. C. **Treinamento funcional na musculação.** São Paulo, 2011.

DIEGO RIBEIRO. **Entenda como luzes e cores auxiliam reflexos dos goleiros do Corinthians.** 2016. Disponível em: <<http://ge.globo.com/futebol/times/corinthians/noticia/2016/07/entenda-como-luzes-e-cores-auxiliam-reflexos-dos-goleiros-do-corinthians.html>>. Acesso em: 25 maio 2022.

DIEHL, Janine. **O treinamento funcional e sua influência nas capacidades físicas, na composição corporal e na qualidade de vida em mulheres.** 2020. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Lajeado/RS, 2020.

D'ELIA, Luciano. **Guia completo de treinamento funcional.** São Paulo, 2017.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet V3.9.** 2022. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf). Acesso em: 13 maio de 2022.

ESPRESSIF. **ESP-NOW User Guide.** 2016. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-now\\_user\\_guide\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-now_user_guide_en.pdf). Acesso em: 13 maio de 2022.

FITLIGHT. Speed & agility light trainer. Disponível em: <<https://www.fitlightraining.com>>. Acesso em: 12 maio 2022.

GELATTI, P. **O gladiador do futuro**. Combat Sport. São Paulo, n. 46, p. 12-14, fev/mar. 2009.

GETTING started with ESP-NOW (ESP32 with Arduino IDE). **Random Nerd Tutorials**. Disponível em: <<https://randomnerdtutorials.com/esp-now-esp32-arduino-ide/>>. Acesso em: 13 de mar. de 2023.

HERNÁNDEZ, Alejandro Rosa. **Estudio para el diseño de un prototipo de sistema de entrenamiento físico basado en Arduino y App móvil**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Escuela Superior de Ingeniería Industrial, Aeronáutica y Audiovisual de Terrassa, Barcelona, 2017.

MAKOTO. **The Makoto Arena does what no other piece of equipment can**. Disponível em: <http://www.makoto-usa.com/about.html>. Acesso em: 25 de maio de 2022a.

MAKOTO. **Medical rehabilitation: repair & regrow neurological pathways**. Disponível em: <http://www.makoto-usa.com/medical-rehabilitation.html>. Acesso em: 25 de maio de 2022b.

MAKOTO. **Special needs & autism**. Disponível em: <http://www.makoto-usa.com/special-needs--autism.html>. Acesso em: 25 de maio de 2022c.

MALI, Tiago; ALBERNAZ, Isadora. **Covid foi a 7ª causa de morte mais comum no Brasil em 2022. Poder 360**. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/coronavirus/covid-foi-a-7a-causa-de-morte-mais-comum-no-brasil-em-2022/>. Acesso em: 04 de jun. 2023.

MARQUES, Jemerson. **O que é ESP-NOW e como funciona [código]**. **FVML - Eletrônica Embarcada**, 2020. Disponível em: <https://www.fvml.com.br/2020/01/o-que-e-esp-now-e-como-funciona-codigo.html>. Acesso em: 02 mar. 2023.

MICHAELIS. **Dicionário de língua portuguesa**. 2022. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). **Dia Mundial da Atividade Física**. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/06-4-dia-mundial-da-atividade-fisica/>. Acesso em: 25 maio 2022.

NAHAS, Markus Vinicius. **Atividade física, saúde e qualidade de vida: conceitos e sugestões para um estilo de vida ativo**. 7ª ed. Florianópolis: Ed. do Autor, 2017.

NAIR, A. G. **ESP32 Pinout Reference**. Disponível em: <https://www.electrorules.com/esp32-pinout-reference/>. Acessado em 15 de março de 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **FOLHA NORMATIVA N° 385: Atividade Física**. [S.L.]: Actbr, 2014. 4 p.



POZZEBOM, Rafaela. **O que são sistemas embarcados?** 2014. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/13538-o-que-sao-sistemas-embarcados#:~:text=O%20sistema%20embarcado%2C%20também%20chamado,ao%20sistema%20que%20ele%20controla.&text=Atualmente%2C%20vários%20produtos%20possuem%20uma,nosso%20dia-a-dia..> Acesso em: 19 jun. 2022.

REAXING. **Reax Lights Pro: high performance & sport rehab.** Disponível em: <https://www.reaxing.com/reax-lights-pro/>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

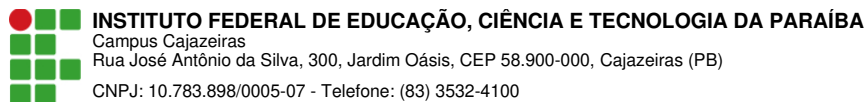
RIBEIRO, Diego; BRAGA, Marcelo. **Entenda como luzes e cores auxiliam reflexos dos goleiros do Corinthians.** 2016. Disponível em: <http://ge.globo.com/futebol/times/corinthians/noticia/2016/07/entenda-como-luzes-e-cores-auxiliam-reflexos-dos-goleiros-do-corinthians.html>. Acesso em: 25 maio 2022.

SILVA, Antoniel Damião Henriques da. **ATP-MANAGER: aplicação mobile com dashboard web para gerenciamento de dispositivo para treinamento de velocidade de reação e agilidade.** 2021. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

SOUZA, Fábio. O que são sistemas embarcados? **Embarcados**, 2023. Disponível em: <https://embarcados.com.br/o-que-sao-sistemas-embarcados/>. Acesso em: 12 de mar. de 2023.

TEAM, FG. **Fitlight trainer used in special ADHD and autism pedagogical program.** 2016. Disponível em: <https://www.fitness-gaming.com/news/health-and-rehab/fitlight-trainer-used-in-special-adhd-and-autism-pedagogical-program.html>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

TRAINER. **Light Trainer exercise system: the new way of workout.** Página inicial. Disponível em: <https://lighttrainer.net/>. Acesso em: 12 de maio de 2022.



## Documento Digitalizado Restrito

### Trabalho de Conclusão de Curso

**Assunto:** Trabalho de Conclusão de Curso  
**Assinado por:** Luis Moureira  
**Tipo do Documento:** Anexo  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Restrito  
**Hipótese Legal:** Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luis Felipe da Silva Moureira, ALUNO (201712030009) DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL - CAJAZEIRAS**, em 30/05/2023 09:44:53.

Este documento foi armazenado no SUAP em 30/05/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 840998  
Código de Autenticação: 7e054c94ce

