

Politécnico de Leiria  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Licenciatura em Eng.<sup>a</sup> Eletrotécnica e de Computadores

## **Rato Adaptado**

Rodrigo Madureira da Silva Duarte

Leiria, julho de 2024









**POLITÉCNICO  
DE LEIRIA**

ESCOLA SUPERIOR  
DE TECNOLOGIA  
E GESTÃO

Politécnico de Leiria

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Licenciatura em Eng.<sup>a</sup> Eletrotécnica e de Computadores

## **Rato Adaptado**

Relatório final da Unidade Curricular de Projeto da Licenciatura em  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Eletrónica e  
Computadores

Rodrigo Madureira da Silva Duarte

Número: 2210984

Trabalho realizado sob orientação do Professor Doutor Paulo Coelho e do Professor  
Doutor Nuno Vieira Lopes.

Leiria, julho de 2024









# Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente aos professores Paulo Coelho e Nuno Vieira Lopes, que me orientaram durante todo o ano letivo, pelo seu apoio, orientação e incentivo ao longo de todo o desenvolvimento deste projeto. A sua orientação contribuiu bastante para superar os desafios encontrados e para alcançar os objetivos propostos.

Gostaria também de estender o meu agradecimento à professora Carla Lopes, por dedicar o seu tempo e atenção ao assumir a função de arguente, e ao professor Alberto Negrão por todo o material disponibilizado, contribuindo para um bom funcionamento da unidade curricular.

Agradeço também aos meus colegas e amigos por todo o apoio dado ao longo da realização deste projeto, que me ajudou a alcançar os objetivos definidos.

Por último, gostaria de agradecer aos engenheiros Marco Santos e Sofia Gualdino do Centro de Eletrónica, por toda a ajuda e tempo disponibilizado durante a criação da PCB do projeto.



# Resumo

Este relatório descreve o desenvolvimento de um rato adaptado para pessoas com deficiências motoras, procurando proporcionar uma solução acessível e eficiente para a interação digital. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa sobre sistemas existentes, como o Quha Zono e outros dispositivos "*Sip and Puff*", analisando as suas características e funcionalidades.

A arquitetura do sistema proposto envolve um sensor de pressão para deteção de sopros e sucções, controlando cliques do rato, e uma unidade de medida inercial (IMU) para monitorizar os movimentos da cabeça, possibilitando o movimento do cursor. Foram escolhidos componentes específicos, como o ESP32 para o microcontrolador, o MPU6050 para a IMU e o LPS33 para o sensor de pressão, detalhando as suas funcionalidades e integração.

Testes iniciais com os componentes demonstraram a viabilidade do sistema, embora ajustes de sensibilidade e calibração tenham sido necessários para otimizar a usabilidade. A implementação do protótipo confirmou a sua aplicabilidade, comparando-o favoravelmente a produtos comerciais existentes.

Apesar da limitação de não testar o protótipo com pessoas com deficiências motoras, o feedback de uma estudante de Terapia Ocupacional foi crucial para refinar o dispositivo. Os próximos objetivos do projeto deveriam focar-se na realização de testes mais abrangentes com o público-alvo e na otimização do dispositivo para atender às diversas necessidades dos utilizadores, contribuindo significativamente para a inclusão digital.



# Abstract

This report describes the development of an adapted mouse for people with motor disabilities, aiming to provide an accessible and efficient solution for digital interaction. Initially, research was conducted on existing systems, such as the Quha Zono and other "Sip and Puff" devices, analysing their characteristics and functionalities.

The proposed system architecture involves a pressure sensor to detect sips and puffs, controlling mouse clicks, and an inertial measurement unit (IMU) to monitor head movements, enabling cursor control. Specific components were chosen, such as the ESP32 for the microcontroller, the MPU6050 for the IMU, and the LPS33 for the pressure sensor, detailing their functionalities and integration.

Initial tests with the components demonstrated the system's viability, although sensitivity adjustments and calibration were necessary to optimize usability. The implementation of the prototype confirmed its applicability, comparing it favourably to existing commercial products.

Despite the limitation of not testing with people with motor disabilities, feedback from an Occupational Therapy student was crucial in refining the device. The project's following objectives should focus on conducting more comprehensive tests with the target audience and optimizing the device to meet the diverse needs of users, significantly contributing to digital inclusion.



# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Lista de figuras .....	x
Lista de tabelas .....	xii
Lista de abreviaturas.....	xiv
1. Introdução .....	1
2. Estado da arte .....	2
2.1. Quha Zono e Zono 2 .....	2
2.2. Sip/Puff Breeze.....	3
2.3. Analog Sip and Puff Switch .....	4
2.4. Abili Head Mouse .....	5
2.5. FlipMouse .....	6
2.6. GlassOuse .....	7
2.7. Colibrino.....	8
2.8. Análise comparativa .....	9
3. Definição da arquitetura e características do sistema a desenvolver .....	10
4. Desenvolvimento do sistema .....	15
4.1. Sensor de Pressão .....	15
4.2. Unidade de Medida Inercial .....	17
4.3. Desenvolvimento da PCB.....	17
4.4. Testes Iniciais .....	19
5. Conclusões .....	21
Bibliografia.....	22
Anexos.....	23
Anexo A .....	24







# Lista de figuras

Figura 2.1 - Quha Zono.....	3
Figura 2.2 - Quha Zono 2.....	3
Figura 2.3 - Sip/Puff Breeze.....	4
Figura 2.4 - Sip and Puff Analog Switch. ....	5
Figura 2.5 - Abili Head Mosue. ....	6
Figura 2.6 - Abili Toolbar.....	6
Figura 2.7 – FlipMouse.....	7
Figura 2.8 – GlassOuse. ....	8
Figura 3.1 - Diagrama de Blocos. ....	10
Figura 3.2 - ESP32.....	11
Figura 3.3 - MPU6050. ....	12
Figura 3.4 - Yaw, Pitch, Roll. ....	12
Figura 3.5 - LPS33.....	12
Figura 4.1 - Placa de Testes. ....	15
Figura 4.2 - Detecção de Sopro ou Sucção. ....	16
Figura 4.3 - Clique curto. ....	16
Figura 4.4 - Clique prolongado. ....	16
Figura 4.5 - Cálculo das variações dos ângulos. ....	17
Figura 4.6 - Camada superior.....	18
Figura 4.7 - Camada inferior.....	18
Figura 4.8 - Placa construída.....	19
Figura 4.9 – Suporte.....	19
Figura 4.10 – Testes.....	20



# Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Modo de operação do Breeze.....	4
Tabela 2.2 - Tabela Comparativa. ....	9
Tabela 3.1 - Unidades Inerciais.....	13
Tabela 3.2 - Sensores de Pressão. ....	13
Tabela 3.3 – Microcontroladores. ....	14



# Lista de abreviaturas

AAC	Comunicação Alternativa e Aumentativa
BLE	Bluetooth Low Energy
DIH	Dispositivo de Interface Humana
IMU	Inertial Measurement Unit
LED	Light Emitting Diode
PCB	Printed Circuit Board
SNP	Sip and Puff
USB	Universal Serial Bus







# 1. Introdução

A acessibilidade digital é essencial para garantir que todas as pessoas, independentemente das suas capacidades físicas, possam utilizar a tecnologia de forma eficaz. No mundo atual, onde a tecnologia é utilizada em quase todos os aspetos da vida quotidiana, a acessibilidade digital tornou-se uma componente essencial para promover a inclusão social, económica e cultural. Para pessoas com deficiência motora, a falta de acessibilidade digital pode ser uma barreira significativa, limitando a sua participação plena na sociedade.

Neste projeto desenvolveu-se um rato adaptado, um dispositivo acessível e resistente para pessoas com deficiência, onde a comunicação e a interação com outros indivíduos ou dispositivos pode ser bastante desafiadora. O principal objetivo do projeto foi criar uma solução de custo reduzido para ajudar na integração de pessoas com deficiências motoras no mundo digital.

Os dispositivos “*Sip and Puff*”, são uma das soluções tecnológicas mais promissoras para ajudar pessoas com deficiência motora a interagir com computadores. Estes dispositivos permitem que os utilizadores controlem o cursor do computador e efetuem cliques a partir de sopros ou sucções. Este método é especialmente útil para pessoas com mobilidade limitada nos membros superiores.

O Rato Adaptado consiste principalmente num sensor de pressão e numa unidade inercial controlado por um microcontrolador. Através do sensor de pressão, o rato permite ao utilizador efetuar um clique esquerdo ou direito usando sopros ou sucções, respetivamente. Consegue também fazer duplos cliques e cliques prolongados. A unidade inercial utiliza os movimentos da cabeça para alterar a posição do cursor do rato.

Nos capítulos seguintes será explicado o seu desenvolvimento.

## 2. Estado da arte

Neste capítulo é apresentada uma pesquisa sobre várias soluções existentes no mercado com características semelhantes a este projeto de forma a conhecer o que já foi desenvolvido nesta área e posteriormente uma análise comparativa dos sistemas encontrados.

### 2.1. Quha Zono e Zono 2

O Quha Zono [1], que pode ser visualizado na Figura 2.1 é um rato giroscópico sem fios. O cursor do rato é movido através da rotação do dispositivo e pode ser utilizado por qualquer segmento corporal que o utilizador consiga controlar. O Quha Zono torna possível a utilização de um computador de forma flexível, quando não se pode utilizar um rato comum. É um dispositivo extremamente leve, e uma vez que é completamente sem fios, existem inúmeras formas de o usar. Usa um sensor giroscópico para detetar o movimento rotacional do cursor do rato, não requerendo uma base direita para ser utilizado. Os movimentos de rotação traduzem-se nos movimentos do cursor escolhidos pelo utilizador. A configuração para a cabeça vem definida por defeito, podendo ser alterada a qualquer momento.

Algumas das características desde sistema são:

- Dimensões: 59 x 33 x 15 mm;
- Peso: 23 g;
- Ligação sem fios *radiolink* 2,45 GHz, funciona até 10 m;
- Bateria Li-Po 240 mAh. Tempo de utilização ativa 30 horas, em modo de inatividade automática até 20 dias;
- Recetor *Universal Serial Bus* (USB) 2.0, inclui ligação de 3,5 mm para ligar um manípulo diretamente.

O Quha Zono 2 [2], que pode ser visualizado na Figura 2.2, é uma versão melhorada do Quha Zono. Com este rato giroscópico, é possível realizar todas as funções de um rato convencional apenas com movimentos da cabeça. O Quha Zono 2 é compatível com diversos dispositivos, incluindo computadores, *tablets* e *smartphones*, permitindo uma navegação livre de constrangimentos tradicionais. Este rato sem fios é fácil de usar desde o primeiro momento, basta ligá-lo, sem necessidade de instalar *drivers*, o que o torna extremamente amigável para o utilizador. Algumas das melhorias face ao Quha Zono são:

- Gestos (padrões de movimento pré-definidos) para ativar características comuns tais como pausa do cursor, *scroll* de janelas e centralização do cursor;
- A opção de uso do *Head Mount Kit* está incluída;
- Tempo de utilização da bateria duplicado entre carregamentos;
- Configuração do(s) manípulo(s).



Figura 2.1 - Quha Zono.



Figura 2.2 - Quha Zono 2.

## 2.2.Sip/Puff Breeze

O *Breeze* [3] é um interruptor compacto Sip/Puff (SNP) com uma interface USB integrada. Aceita um conector pneumático e transmite diretamente eventos de aspiração (*sip*) e sopro (*puff*) como dois interruptores adaptativos para um computador. O *Breeze* é alimentado pela porta USB do dispositivo *host*, não necessitando de fonte de alimentação externa. Utiliza *drivers* padrão de Dispositivo de Interface Humana (HID) USB e é compatível com computadores Windows, Mac e Linux, bem como dispositivos Android e iOS com adaptadores, e muitos dispositivos de Comunicação Alternativa e Aumentativa (AAC). Este dispositivo pode ser observado na Figura 2.3. Este sistema contém um interruptor para controlar os diferentes modos de funcionamento, estes diferentes modos estão representados na Tabela 2.1

O *Breeze* não só gera eventos que excedem dois diferentes limiares de pressão, como também pode gerar valores analógicos de *joystick* com base na pressão aplicada. Existem dois ajustes de limiar de pressão. O valor padrão de fábrica é aproximadamente três polegadas de coluna de água (aproximadamente 747 Pa), podendo ser alterado para duas polegadas de coluna de água (498 Pa) com histerese adicional. Estes dois limiares de pressão são projetados para uso por pessoas com deficiência e não podem ser modificados. O *Breeze* mede os valores de pressão em relação à pressão ambiente.

Além de reportar eventos de botões de *joystick*, o *Breeze* pode reportar a pressão analógica como valores proporcionais das posições X e Y do *joystick*. Quando operando no modo *joystick plus*, o *Breeze* reportará os eventos dos botões *fire-one* e *fire-two* quando a pressão de entrada exceder os limiares configurados, enquanto a pressão de entrada é reportada como valores proporcionais das posições X e Y [4].

Tabela 2.1 - Modo de operação do Breeze.

<i>DIP Switch</i>		<i>Mode</i>	<i>Outputs</i>		<i>Notes</i>
<i>1</i>	<i>2</i>		<i>Switch 1</i>	<i>Switch 2</i>	
<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>Mouse (Default)</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	
<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>Joystick</i>	<i>Fire-One</i>	<i>Fire-Two</i>	
<i>ON</i>	<i>OFF</i>	<i>Keyboard</i>	<i>Enter</i>	<i>Space</i>	
<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>Joystick Plus</i>	<i>Fire-One</i>	<i>Fire-Two</i>	<i>Pressure to X- and Y- Position</i>
<i>DIP Switch 3</i>		<i>Mode</i>	<i>Notes</i>		
<i>ON</i>		<i>All</i>	<i>"Sip" is Left Mouse, Fire-One or Enter</i>		
<i>OFF</i>		<i>All</i>	<i>"Puff" is Left Mouse, Fire-One or Enter</i>		
<i>DIP Switch 4</i>					
<i>ON</i>		<i>All</i>	<i>Standard Sensitivity (3-inches water column)</i>		
<i>OFF</i>		<i>All</i>	<i>High Sensitivity (2-inches water column with extra sensitivity)</i>		



Figura 2.3 - Sip/Puff Breeze.

### 2.3. Analog Sip and Puff Switch

O *Analog Sip and Puff Switch* [5], que pode ser observado na Figura 2.4, é um interruptor adaptativo que pode ser operado ao aspirar ou soprar ar num bocal. O utilizador deve conseguir soprar ou aspirar o ar através de um tubo. O dispositivo é composto por uma caixa de controlo retangular à qual se pode ligar um tubo de ar e um bocal. Dentro da caixa, há um sensor de pressão de ar e dois interruptores momentâneos independentes: um é acionado pela aspiração e o outro pelo sopro. A sensibilidade das funções de aspiração e sopro é ajustável utilizando dois controlos laterais que podem ser configurados com uma pequena chave de fendas. Os interruptores internos ligam-se a dispositivos externos através de dois *jacks* de áudio de 3 mm, utilizando cabos de áudio mono padrão.



Figura 2.4 - Sip and Puff Analog Switch.

## 2.4. Abili Head Mouse

O *Abili Head Mouse* [6], que pode ser visualizado na Figura 2.5, é um dispositivo projetado para permitir o controlo do cursor do rato de um computador sem usar as mãos, através dos movimentos da cabeça. Utiliza sensores de movimento e conecta-se aos computadores via Bluetooth, permitindo que os utilizadores movam o cursor apenas olhando para cima, para baixo, para a esquerda ou para a direita. Este dispositivo é particularmente útil para pessoas com deficiências motoras, pois oferece uma maneira acessível de interagir com computadores sem utilizar as mãos.

O *Abili Head Mouse* pode ser usado de várias formas: preso a um boné, a auscultadores, ou usando uma fita incluída no pacote. Para clicar, os utilizadores podem utilizar a *Abili Toolbar*, representada na Figura 2.6, gratuita ou outros interruptores adaptativos e barras de ferramentas suportadas pelo sistema operativo. O dispositivo é compatível com os principais sistemas operativos, incluindo Windows, macOS e Linux.



Figura 2.5 - Abili Head Mouse.

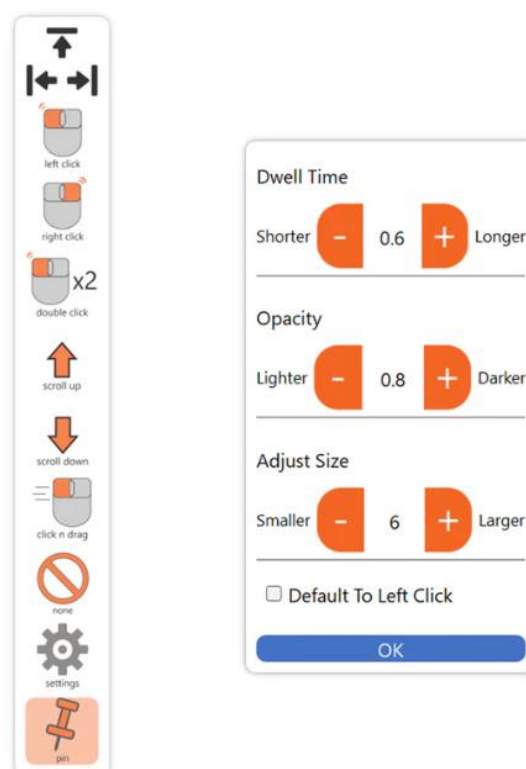


Figura 2.6 - Abili Toolbar.

## 2.5.FlipMouse

O FLipMouse [7], observado na Figura 2.7 é um módulo de Tecnologia Adaptativa *open source* desenvolvido pelo projeto AsTeRICS Academy da Universidade de Ciências Aplicadas, Technikum Wien. Este dispositivo permite que pessoas que não podem usar dispositivos de entrada padrão controlem o cursor do rato ou um *joystick*, bem como escrever teclas desejadas do teclado ou usem controlos remotos infravermelhos. O FLipMouse pode ser acionado com movimentos mínimos dos dedos ou lábios e/ou atividades de sopro e sucção através de um bocal dedicado.

Os utilizadores podem interagir com o FLipMouse de várias maneiras:

- tocando no bocal com os lábios ou dedos e aplicando pequenas forças na direção vertical ou horizontal;
- aumentando ou reduzindo a pressão no bocal (soprando ou aspirando);
- ativando (até) 3 interruptores momentâneos / botões de pressão;
- se desejado, pode ser fixado um tubo de plástico mais comprido ao sensor de pressão, permitindo que o joystick seja usado com um dedo e um bocal separado permita o controlo por sopro/sucção.

Todos os ficheiros de design para eletrónica e estrutura, bem como o código-fonte do software, estão disponíveis como *open source* e são distribuídos através do site do projeto AsTeRICS Academy [7] e do GitHub [8].



Figura 2.7 – FlipMouse.

## 2.6. GlassOuse

O dispositivo adaptativo GlassOuse [9], presente na Figura 2.8, foi desenvolvido para auxiliar pessoas com dificuldades em utilizar tecnologias portáteis, como telemóveis, computadores, *tablets* e *Smart TVs*, através de movimentos da cabeça.

O GlassOuse é usado como um par de óculos, oferecendo conforto para uso prolongado, sendo também compatível com óculos de prescrição. Utiliza um giroscópio de 9 eixos para detetar movimentos da cabeça, traduzindo-os em movimentos precisos do cursor no dispositivo conectado. Conectando-se via *Bluetooth*, o GlassOuse garante baixa latência e desempenho fiável em várias plataformas, incluindo Windows, macOS, iOS, Android, Linux e ChromeOS. Os utilizadores podem conectar e controlar até três dispositivos simultaneamente, alternando entre eles com facilidade. A bateria de longa duração do GlassOuse oferece mais de 150 horas de uso ativo com uma única carga, sendo adequado para utilização durante todo o dia. O dispositivo suporta uma variedade de interruptores adaptativos através de uma entrada de 3,5mm. Estes interruptores permitem que utilizadores com diferentes tipos de limitações de mobilidade realizem cliques e outras ações conforme necessário.



Figura 2.8 – GlassOuse.

## 2.7. Colibrino

O Colibrino [10] utiliza um tipo de sensor chamado IMU (Unidade de Medidas Inerciais) para obter informação sobre a orientação espacial da cabeça. A IMU do Colibrino é o MPU-6050, um circuito integrado (acelerómetro e giroscópio) que contém estruturas mecânicas microscópicas capazes de detetar movimentos do corpo ligado a ele e a força da gravidade. Estas estruturas mecânicas interagem eletricamente com o circuito que mede os movimentos em números correspondentes à aceleração e à velocidade angular em três eixos. Os dados são filtrados e usados para calcular a posição da cabeça e, finalmente, mover o cursor do rato de forma correspondente.

Este sistema foi utilizado para perceber como poderia ser feita a conectividade com o computador e simular um ESP32 como um dispositivo de entrada, neste caso um rato. Foi obtida uma biblioteca do Arduino que auxilia a conexão Bluetooth e o computador a reconhecer o ESP32 como um rato.



## 2.8. Análise comparativa

Depois de se observar todas as soluções encontradas, foi criada uma tabela comparativa, Tabela 2.2, para cada sistema apresentado no Capítulo 2. Na tabela podemos observar o tipo de tecnologia utilizada (se utiliza movimento da cabeça ou sensor de pressão), onde o sistema é utilizado e a sua conectividade. Estes são os tópicos mais importantes para os requisitos do projeto. Será utilizado o movimento da cabeça para controlar o cursor, como o Quha Zono e Quha Zono 2, o Abili Head Mouse e o GlassOuse para maior flexibilidade e precisão. A maioria destes sistemas tem compatibilidade com sensores de pressão, mas não estão incluídos, sendo vendidos à parte. Como um dos objetivos do projeto é fazer um dispositivo de baixo custo, o sistema a desenvolver terá um sensor de pressão incluído, não havendo necessidade de custos adicionais. O local onde o sistema será utilizado é a cabeça, como no sistema Quha Zono e Quha Zono 2, Abili Head Mouse e GlassOuse. E será conectado ao computador através de Bluetooth Low Energy (BLE) para não serem precisos cabos a efetuar a ligação.

Concluindo, para o sistema a desenvolver será usado um sensor de movimento para o movimento da cabeça, um sensor de pressão, e um microcontrolador para controlar esses dois sensores. Além disso será também necessário um regulador de tensão para ajustar a tensão em que os sensores e o microcontrolador operam e um carregador da bateria e medidor de estado para carregar e obter a tensão de uma bateria de forma a ser possível operar o sistema sem ser preciso estar ligado a uma fonte de tensão externa.

A pesquisa para os componentes será explicada posteriormente.

Tabela 2.2 - Tabela Comparativa.

	Quha Zono/Quha Zono 2	SNP Breeze	SNP Analog Switch	Abili Head Mouse	FlipMouse	GlassOuse
Movimento da cabeça	Sim.	Não. Apenas interruptor de pressão	Não. Apenas interruptor de pressão	Sim.	Não. Movimento efetuado por um <i>joystick</i>	Sim
Sensor de Pressão	Não incluído. Vendido à parte	Sim	Sim	Não incluído. Vendido à parte	Sim	Não incluído. Vendido à parte
Local de operação	Cabeça	Computador	Mesa	Cabeça	Mesa	Cabeça
Conectividade	USB	USB	<i>Jack</i>	Bluetooth	USB	Bluetooth

### 3. Definição da arquitetura e características do sistema a desenvolver

Depois de realizado o estudo do estado da arte e serem definidos os requisitos no Capítulo 2.8, foi criado um diagrama de blocos para o sistema a desenvolver, este pode ser observado na Figura 3.1. Para a implementação deste sistema será necessário um microcontrolador, uma IMU, um sensor de pressão, um medidor de estado da bateria, uma bateria, um carregador da bateria, um regulador de tensão, dois botões de pressão e quatro *Light Emitting Diodes* (LED). A escolha destes componentes será explicada adiante.

O bloco do Regulador de Tensão, é responsável por receber a tensão da ficha USB e da bateria e limitar essa tensão a 3.3V para alimentar os restantes componentes. O Carregador da Bateria é responsável por carregar a bateria quando o sistema se encontra alimentado externamente, um LED laranja é ativado para indicar este processo. O IMU é responsável pelo movimento do cursor do rato através dos movimentos da cabeça do utilizador, quando move a cabeça para a direita ou esquerda o cursor move-se em torno do eixo horizontal e quando move a cabeça para cima e para baixo o cursor move-se em torno do eixo vertical, e o sensor de pressão simula os diferentes cliques do rato, através de sopros ou sucções num tubo, detetando os diferentes valores e sentidos da pressão. O bloco de Medidor de estado da bateria é utilizado para obter a tensão existente na bateria. O sistema tem dois botões de pressão, um para fazer *reset* e outro *boot* que será usado para calibrar o sistema. Existe também um LED vermelho para indicar se o sistema se encontra ligado, um LED azul para indicar a ligação ao computador através do *Bluetooth Low Energy* (BLE) e outro LED vermelho como indicador de bateria fraca. O controlador irá receber os dados obtidos em cada bloco e atuar conforme o pretendido.

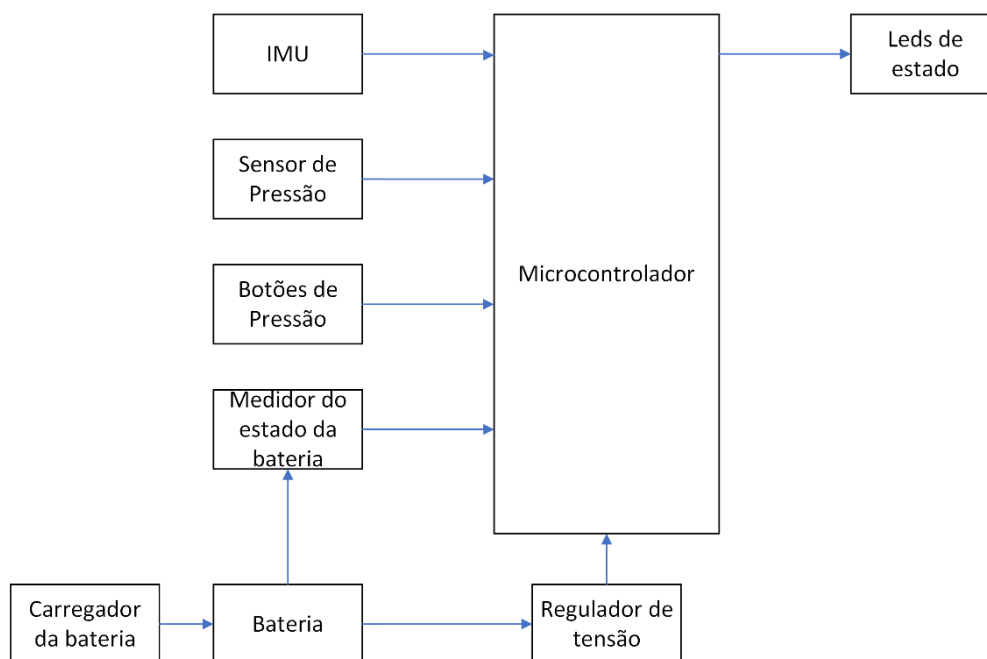


Figura 3.1 - Diagrama de Blocos.

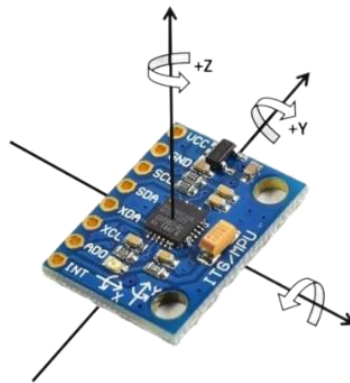
No processo de seleção de materiais, são escolhidos componentes específicos com base nas suas características técnicas e compatibilidade com o projeto em questão. Foi realizada uma pesquisa para encontrar componentes adequados e a respetiva análise desses componentes.

Primeiramente para o microcontrolador, foram analisadas duas opções, que podem ser observadas na Tabela 3.3. Este microcontrolador deve ser escolhido com base na sua conectividade por BLE para efetuar a ligação ao computador, nos seus portos I2C para comunicar com os sensores, na sua tensão de alimentação e custo. Optou-se pelo uso do ESP32S3 [11], presente na Figura 3.2, devido à familiaridade com o dispositivo, adquirida durante a aplicação em uma unidade curricular anterior e ao seu baixo custo. Este contém comunicação *Bluetooth Low Energy* que será utilizada para ligação ao computador, I2C para comunicar com os devidos sensores e tem uma tensão de operação de 3.3V. Foi utilizado o programa “ArduinoIDE” para programar este microcontrolador.

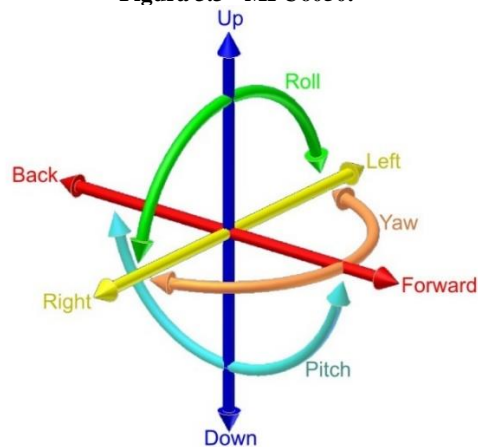


Figura 3.2 - ESP32.

Para o IMU, foram analisadas quatro opções, que podem ser observadas na Tabela 3.1. Este deve ser selecionado com base na sua comunicação, sensibilidade de aceleração e rotação, tensão de alimentação e custo. Foi escolhido um MPU6050 [12], presente na Figura 3.3, devido ao seu baixo custo, à sua comunicação por I2C, à sua tensão de operação de 3.3V e pelas vastas bibliotecas existentes para programação através da aplicação “ArduinoIDE”. A sua utilização num projeto *open source* mencionado no Capítulo 2.7 foi também um dos fatores na escolha deste componente. Deste sensor vão ser obtidos os ângulos *Yaw*, *Pitch* e *Roll*, estes ângulos podem ser observados na Figura 3.4, retirada da Wikipédia [13]. O *Yaw* é o movimento de rotação em torno do eixo vertical (eixo Z), o *Pitch* é o movimento de rotação em torno do eixo lateral (eixo Y), e o *Roll* é o movimento de rotação em torno do eixo longitudinal (eixo X).

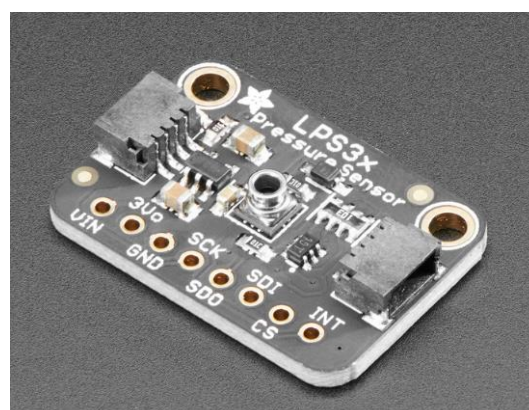


**Figura 3.3 - MPU6050.**



**Figura 3.4 - Yaw, Pitch, Roll.**

Para a escolha do sensor de pressão também foram analisadas quatro opções, apresentadas na Tabela 3.2. Este sensor deve ser escolhido com base na sua comunicação, a sua tensão de alimentação, o seu custo. Foi selecionado um LPS33 [14], presente na Figura 3.5, também devido ao seu baixo custo e à sua facilidade de programação para obtenção de dados. O sensor opera nos 3.3V e comunica por I2C com o controlador.



**Figura 3.5 - LPS33.**

Tabela 3.1 - Unidades Inerciais.

Sensor IMU	BHI360	IIM-20670	ASM330LHHXG1TR	MPU6050
Tipo	6 eixos	6 eixos	6 eixos	6 eixos
Interface	SPI	SPI	I2C, SPI	I2C
Saída	Digital	Digital	Digital	Digital
Resolução	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits
Aceleração	16 bit 3 eixos acelerómetro	16 bit 3 eixos acelerómetro Range $\pm 2g$ , to $\pm 65g$ Giroscópio $\pm 41$ dps to $\pm 1966$ dps	16 bit 3 eixos acelerómetro $\pm 2g$ to $\pm 16 g$ Giroscópio $\pm 125$ to $\pm 4000$ dps	16 bit 3 eixos acelerómetro $\pm 2g$ to $\pm 16 g$ Giroscópio $\pm 250$ to $\pm 2000$ dps
Tensão	1.7 ~ 3.6 V	3 ~ 5.5 V	1.71 ~ 3.6 V	2.375 ~ 3.46 V
Estimativa de preço	6,08 €	14,33 €	14,31 €	8,09 €
Link	<a href="#">BHI360</a>	<a href="#">IIM-20670</a>	<a href="#">ASM330LHHXG1TR</a>	<a href="#">MPU-6050</a>

Tabela 3.2 - Sensores de Pressão.

Sensor	LPS33KTR	MPRLL0001PG000 01C	ABP2LANT060PG2 A3XX	MPRLS0025PA000 01A
Interface	I2C, SPI	I2C	I2C	I2C
Tensão	1.7 V to 3.6 V	1.8 V to 3.6 V	1.8 V to 3.6 V	1.8 V to 3.6 V
Estimativa de preço	5,91 €	15,72€	15,46 €	14,92€
Pressão	26 kPa to 126 kPa	0 psi to 1 psi	0 psi to 60 psi	0 psi to 25 psi (172,37kPa)
Link	<a href="#">LPS33KTR</a>	<a href="#">MPRLL0001PG000 01C</a>	<a href="#">ABP2LANT060PG2A 3XX</a>	<a href="#">MPRLS0025PA000 01A</a>

Tabela 3.3 – Microcontroladores.

Microcontroladores	ESP32-S3-WROOM-1-N16R8	nRF52840
Tensões	3.0 ~ 3.6 V	1.8 ~ 3.3 V
Portos	GPIO, SPI, interface de LCD, interface de câmara, UART, I2C, I2S, controlo remoto, contador de impulsos, PWM de LED, USB 2.0 OTG de velocidade total, controlador USB Serial/JTAG, MCPWM, host SDIO, GDMA, controlador TWAI® (compatível com ISO 11898-1), ADC, sensor tátil, sensor de temperatura, temporizadores e watchdogs	RTC, QDEC, 2 x UART (CTS/RTS), 4x SPI mestre/3x SPI escravo, 5x temporizador de 32 bits com modo de contagem, sensor de temperatura, PWM, PDM, 48 pinos de E/S de propósito geral, Interconexão periférica programável (PPI), comparador de 64 níveis, ADC de 12 bits, 200 ksps - 8 canais configuráveis com ganho programável.
Comunicações	Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh, Wi-Fi 802.11 b/g/n	Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh, Wi-Fi 802.15.4 b/g/n
Estimativa de preço	3,63 €	6,03€
Link	<a href="#">ESP32-S3-WROOM-1-N16R8</a>	<a href="#">nRF52840</a>

## 4. Desenvolvimento do sistema

Depois de escolher os componentes que iriam ser utilizados, foram iniciados testes com o intuito de entender como cada componente funciona e como poderia ser implementado no projeto. Para isso foram utilizados módulos comerciais baseados nos sensores MPU6050, no sensor de pressão LPS33 e um módulo com o microcontrolador ESP32, numa placa de testes de forma a efetuar esses testes. Essa placa de testes pode ser observada na Figura 4.1.

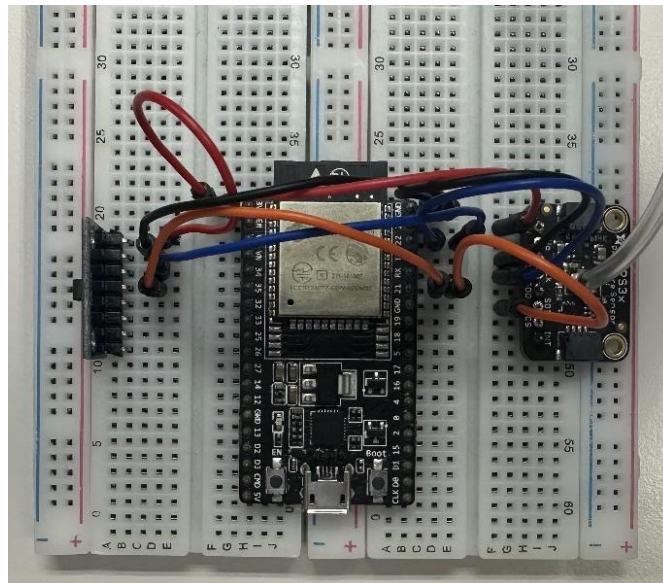


Figura 4.1 - Placa de Testes.

### 4.1. Sensor de Pressão

O objetivo do sensor de pressão é efetuar os cliques do rato através da pressão do ar detetada pelo sensor. Desta forma o utilizador sopra ou aspira para um tubo, o sensor deteta o sentido e a intensidade da pressão e o microcontrolador recebe esses valores e realiza as ações pretendidas.

O rato é capaz de efetuar cliques esquerdos através do sopra, cliques direitos através da sucção, duplo clique através de dois sopros rápidos, e clique contínuo através de um longo sopra. De forma a implementar o pretendido, foi utilizado um exemplo do Arduino [15] para “Short Press” e “Long Press” e em vez de serem usados botões de pressão como no exemplo, foi adaptado para usar o sensor de pressão. Foram definidos dois valores de limiar para cada sentido da pressão, pressão negativa significa uma sucção e pressão positiva significa um sopra, e se os valores obtidos forem maiores ou menores que esses valores de limiar, os cliques são detetados, como pode ser observado na Figura 4.2.

Depois, consoante o tempo do sopra ou sucção é realizado um clique curto ou um clique prolongado. Um clique curto tem de ser menor que 500 milissegundos e um clique prolongado tem de ser maior que 1000 milissegundos. Nas Figura 4.3 e Figura 4.4 pode ser observado o código para um clique curto e para um clique prolongado, respetivamente.

```

if (lps35hw.readPressure() > THRESHOLD_PUFF) {
    currentState_Puff = HIGH;
} else if (lps35hw.readPressure() < -THRESHOLD_SIP) {
    currentState_Sip = HIGH;
} else {
    currentState_Puff = LOW;
    currentState_Sip = LOW;
}

```

Figura 4.2 - Detecção de Sopro ou Sucção.

```

if (lastState_Sip == LOW && currentState_Sip == HIGH) { // button is pressed
    pressedTime = millis();
    isPressing = true;
} else if (lastState_Sip == HIGH && currentState_Sip == LOW) { // button is released
    releasedTime = millis();
    isPressing = false;
    isLongDetected = false;
    bleMouse.release(MOUSE_LEFT);

    long pressDuration = releasedTime - pressedTime;

    if (pressDuration < SHORT_PRESS_TIME) {
        Serial.println("A short press is detected");
        bleMouse.click(MOUSE_RIGHT);
        Serial.println("Right Click");
    }
}

```

Figura 4.3 - Clique curto.

```

if (isPressing == true && isLongDetected == false) {
    long pressDuration = millis() - pressedTime;

    if (pressDuration > LONG_PRESS_TIME) {
        Serial.println("A long press is detected");
        bleMouse.press(MOUSE_LEFT);
        isLongDetected = true;
    }
}

```

Figura 4.4 - Clique prolongado.



## 4.2. Unidade de Medida Inercial

A IMU é responsável pelo movimento do cursor do rato. No caso do projeto foram usados os ângulos de *Pitch* para o movimento do cursor no eixo horizontal e o *Roll* para o movimento do cursor no eixo vertical, devido à orientação do sensor.

Para movimentar o cursor foram criadas variações dos ângulos através da diferença do valor obtido no momento com o valor obtido anteriormente. Esse valor é multiplicado por uma sensibilidade que permite alterar a velocidade com que o cursor se desloca, depois a respetiva variação para cada eixo é introduzida na função “mouse.move(x, y, scroll)” que altera a posição do cursor, de momento o rato não permite ao utilizador efetuar *scroll*. O código para cálculo e movimentação do cursor pode ser observado na Figura 4.5.

```
// Calculate Pitch, Roll and Yaw
pitch = pitch + norm.YAxis * timeStep;
roll = roll + norm.XAxis * timeStep;
yaw = yaw + norm.ZAxis * timeStep;

// Calculate degree variations
yaw_rate = (yaw - old_yaw) * SENSIBILIDADE;
pitch_rate = (pitch - old_pitch) * SENSIBILIDADE;
roll_rate = (roll - old_roll) * SENSIBILIDADE;

old_yaw = yaw;
old_pitch = pitch;
old_roll = roll;

bleMouse.move(pitch_rate, -roll_rate, 0);
```

Figura 4.5 - Cálculo das variações dos ângulos.

## 4.3. Desenvolvimento da PCB

Depois de selecionados os componentes, foi iniciada a criação da *Printed Circuit Board* (PCB), usando o *Altium Designer*. Foi criado um esquemático, que pode ser encontrado no Anexo A, consultando os *datasheets* e os esquemáticos dos circuitos integrados selecionados ao longo deste relatório. A placa foi feita na escola com o auxílio do Centro de Eletrónica do Departamento de Engenharia Eletrotécnica.

Para realizar a placa na escola houve algumas limitações:

- Largura mínima de pistas: 0.3mm;
- Distância mínima entre pistas: 0.3mm;
- Distância mínima entre pistas e planos de massa: 0.5mm;
- Tamanho mínimo dos *pads*: circular [furo de 0.8mm, diâmetro externo de 1.5mm] oval [furo de 0.8mm, diâmetro A de 1.5mm, diâmetro B de 2.5mm];
- Tamanho das vias: furo de 0.8mm, diâmetro externo de 1.5mm;

Devido a essas limitações não foi possível soldar o componente MPU6050 porque a distância entre pistas era demasiado pequena, nem o medidor de estado da bateria devido a esse mesmo

motivo. Para resolver esse problema foram utilizados conectores fêmea de 8 pinos para colocar um módulo comercial baseado no sensor MPU6050 e um circuito divisor de tensão para permitir obter a tensão da bateria. Também não foi possível soldar o sensor de pressão porque houve um erro na criação da *footprint* do sensor e as ligações estavam erradas, não permitindo o normal funcionamento do sensor. Por isso foi adicionado mais um conector fêmea de 8 pinos para resolver esse problema. Numa nova versão da placa já será possível soldar este sensor.

No fim de fazer o esquemático, os componentes foram organizados em duas camadas de forma a dividir bem o espaço para a placa não ficar muito grande, essas duas camadas podem ser visualizadas nas Figura 4.6 e Figura 4.7, respectivamente. Na camada de baixo foi implementado um plano de massa de forma a facilitar as ligações. No fim a placa ficou maior do que se esperava devido às limitações de fazer a placa na escola. É possível resolver essas limitações e reduzir o tamanho, mandando fazer uma placa fora da escola. Podemos observar a placa construída na Figura 4.8.

Para as ligações elétricas foi usado um tamanho de 0.6 mm para as ligações à terra, 0.5 mm para as ligações de 3.3V e 0.4 mm para as restantes ligações. E para o plano de massa a distância entre as ligações e o plano é de 0.5 mm.

Posteriormente, de forma a realizar testes com o protótipo construído, foi realizado um suporte usando uma bandolete e um bocado de espuma para construir uma caixa para fixar o sistema à cabeça do utilizador, esse suporte está representado na Figura 4.9.

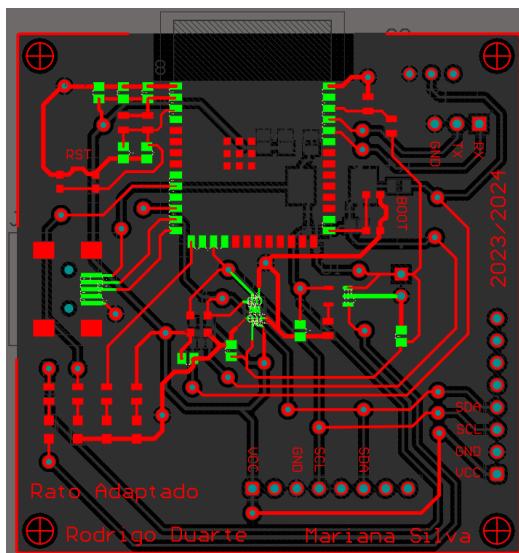


Figura 4.6 - Camada superior

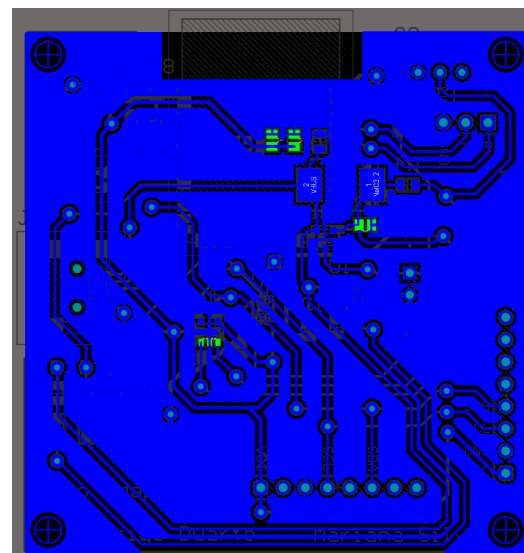


Figura 4.7 - Camada inferior



Figura 4.8 - Placa construída.

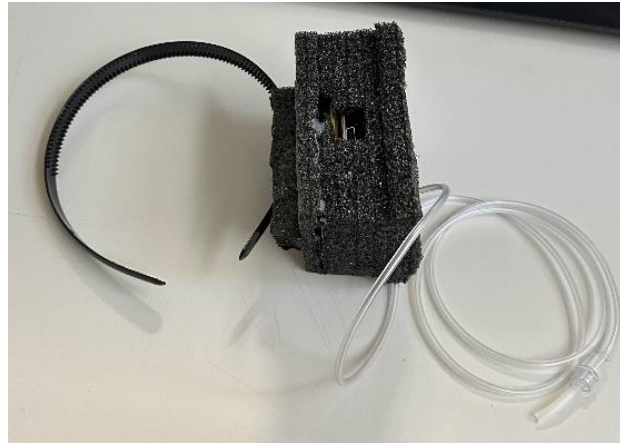


Figura 4.9 – Suporte.

#### 4.4. Testes Iniciais

Foi realizada uma visita ao Centro de Inovação em Tecnologias e Cuidados de Saúde do Politécnico de Leiria (ciTechCare) para obter opiniões sobre o protótipo e realizar alguns testes. Foram realizados alguns testes com o auxílio uma estudante de Terapia Ocupacional que, devido ao seu trabalho com pessoas com deficiência, forneceu uma valiosa contribuição. Apesar de não terem sido efetuados testes com pessoas com deficiência, a opinião da terapeuta foi importante para verificação inicial da aplicabilidade do sistema.

Houve a necessidade de realizar alguns ajustes na sensibilidade do sistema para permitir que os utilizadores com mais limitações motoras consigam mover o cursor sem ter de mover demasiado a cabeça. Além disso foram encontrados alguns problemas de calibração, que foram resolvidos adaptando o código. Se o sistema não estiver totalmente estável e vertical durante a calibração o rato fica com um pequeno “*drift*”, para isso é aconselhado a colocar o dispositivo estável e na vertical em cima da mesa durante a calibração. Foi aconselhado também, alterar o ângulo de movimento do cursor, ou seja, em vez de inclinar a cabeça para o lado esquerdo ou direito, passaria a mover a cabeça para o lado direito ou esquerdo para mover o cursor no eixo horizontal. Desta forma os utilizadores com mais limitações no pescoço conseguem usar o rato mais facilmente.

Para os testes efetuados foi utilizado um programa de jogos infantis utilizado para reabilitação chamado “KINKA Games” [16]. Na Figura 4.10 podemos observar a realização de testes com o rato nesse mesmo programa.

No centro foi utilizado também um dos produtos comerciais mencionados no Capítulo 2.1, o Quha Zono de forma a obter alguma comparação com um produto real, e os resultados foram bastante semelhantes. O produto tinha alguns problemas de calibração o que fazia com que o cursor se movesse sozinho, e era preciso o utilizador fazer demasiada força com o pescoço para chegar aos limites do ecrã.



**Figura 4.10 – Testes.**

## 5. Conclusões

O projeto de desenvolvimento de um rato adaptado apresenta uma solução inovadora e prática para facilitar a interação digital de pessoas com deficiências motoras. Ao longo deste relatório foram discutidas a pesquisa e a análise de sistemas similares, a escolha e teste dos componentes e a implementação do protótipo.

Os testes realizados embora limitados pela falta de participantes com deficiências motoras, forneceram um feedback valioso através da contribuição de uma estudante de Terapia Ocupacional. As sugestões e ajustes realizados, como a calibração do sistema e a adaptação dos movimentos do cursor, demonstraram a aplicabilidade e o potencial do dispositivo.

Os resultados obtidos com o protótipo foram comparáveis aos de produtos comerciais existentes, como o Quha Zono, indicando que o projeto está no caminho certo para ser uma alternativa viável e acessível. Os próximos objetivos do projeto deveriam focar-se na realização de testes mais abrangentes com o público-alvo e na otimização da sensibilidade e calibração do dispositivo para atender às diversas necessidades dos utilizadores.

Em resumo, este projeto não apenas atende a uma necessidade importante na área da acessibilidade, mas também abre portas para futuras inovações e melhorias no campo dos dispositivos adaptativos, contribuindo significativamente para a inclusão digital.

## Bibliografia

- [1] «Quha Zono | Quha». Acedido: 1 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.quha.com/products/quha-zono/>
- [2] «Quha Zono 2 | Quha». Acedido: 1 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.quha.com/products/quha-zono-2/>
- [3] «Sip/Puff Switch». Acedido: 7 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://www.orin.com/access/sip\\_puff/#\\_Universal%20Mount](https://www.orin.com/access/sip_puff/#_Universal%20Mount)
- [4] «Breeze Specifications». Acedido: 15 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://www.orin.com/access/sip\\_puff/breeze\\_specs](https://www.orin.com/access/sip_puff/breeze_specs)
- [5] «makersmakingchange/Sip-And-Puff-Analog-Switch: An open source analog sip and puff switch». Acedido: 1 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://github.com/makersmakingchange/Sip-And-Puff-Analog-Switch/tree/master>
- [6] «Abili Head Mouse», Abilitare. Acedido: 1 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://abilitare.com/products/abili-mouse>
- [7] «The FLipMouse», AsTeRICS Foundation. Acedido: 15 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.asterics-foundation.org/projects/the-flipmouse/>
- [8] «asterics/FLipMouse». asterics, 21 de junho de 2024. Acedido: 15 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://github.com/asterics/FLipMouse>
- [9] «New GlassOuse V1.4: Assistive Device for People with Disabilities», Glassouse Assistive Device. Acedido: 1 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://glassouse.com/product/glassouse-v1-4-assistive-device/>
- [10] «Colibrino». TiX - [www.tix.life](http://www.tix.life), 9 de novembro de 2023. Acedido: 2 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://github.com/tix-life/Colibrino>
- [11] «ESP32-S3-WROOM-1-N16R8 Espressif Systems | Mouser Portugal». Acedido: 2 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://pt.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-S3-WROOM-1-N16R8?qs=Li%252BoUPsLEnvQc9gW6AMhZg%3D%3D>
- [12] «MPU-6050», TDK InvenSense. Acedido: 2 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>
- [13] «Pitch, yaw, and roll», *Simple English Wikipedia, the free encyclopedia*. 7 de abril de 2023. Acedido: 15 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://simple.wikipedia.org/w/index.php?title=Pitch,\\_yaw,\\_and\\_roll&oldid=8760312](https://simple.wikipedia.org/w/index.php?title=Pitch,_yaw,_and_roll&oldid=8760312)
- [14] «Overview | Adafruit LPS33/LPS35 Water Resistant Pressure Sensor | Adafruit Learning System». Acedido: 2 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/lps35hw-water-resistant-pressure-sensor/overview>
- [15] «Arduino - Button - Long Press Short Press | Arduino Tutorial», Arduino Getting Started. Acedido: 6 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-button-long-press-short-press>
- [16] «Eye tracking in therapy: KINKA Games - official website», KINKA. Acedido: 2 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://en.kinkagames.com/>

## **Anexos**

Anexo A

