

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO  
PAULO**

**ARTHUR BRANCO DE OLIVEIRA  
THATIANE MUNIZ FUKUNISHI**

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA  
LOCOMOÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**

**SÃO PAULO**

**2019**

**ARTHUR BRANCO DE OLIVEIRA**  
**THATIANE MUNIZ FUKUNISHI**

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA LOCOMOÇÃO DE  
PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**

Trabalho de conclusão apresentado como  
requisito para a conclusão do curso de  
Engenharia de Controle e Automação do  
Departamento de Elétrica do Instituto  
Federal de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Pires.

**SÃO PAULO**

**2019**

**ARTHUR BRANCO DE OLIVEIRA**  
**THATIANE MUNIZ FUKUNISHI**

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA LOCOMOÇÃO DE  
PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**

Trabalho de conclusão apresentado como  
requisito para a conclusão do curso de  
Engenharia de Controle e Automação do  
Departamento de Elétrica do Instituto  
Federal de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Pires.

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof.  
Assinatura\_\_\_\_\_

Instituto Federal de São Paulo

Prof.  
Assinatura\_\_\_\_\_

Instituto Federal de São Paulo

Prof.  
Assinatura\_\_\_\_\_

Instituto Federal de São Paulo

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares, por não medirem esforços para a nossa formação.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Ricardo Pires, pela dedicação, pelas ideias e apoio dado durante este trabalho.

Aos professores Tarcisio Leão e Miguel Angelo pela disposição e pelos ensinamentos para a produção desta monografia.

Aos membros do Centro de Apoio ao Deficiente Visual, por ceder o seu espaço e por trocar de experiências para a fundamentação, desenvolvimento e validação deste trabalho.

A TM Bengalas, pelo apoio para o desenvolvimento e design, e pela fabricação do protótipo da bengala.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo e ao Laboratório de Controle Aplicado por ceder o espaço o desenvolvimento e para as reuniões semanais.

“Tornamos nosso mundo significativo pela coragem de nossas perguntas e pela profundidade de nossas respostas”.

(SAGAN, 1981).

## RESUMO

A deficiência visual limita a participação plena e efetiva de pessoas na sociedade em condições de igualdade com as demais. Em qualquer grau, ela compromete a capacidade de se orientar e de se movimentar no espaço com plena segurança e independência, sendo benéfico o uso de ferramentas ou técnicas para locomoção. Este trabalho trata-se do desenvolvimento de uma tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual, cuja finalidade é melhorar sua locomoção através da identificação de obstáculos em seu trajeto, para que este seja percorrido com maior segurança. O design e as funcionalidades do dispositivo foram desenvolvidos de acordo com sugestões recebidas de possíveis usuários, concentradas em aspectos como ergonomia, portabilidade e descrição da ferramenta. O dispositivo desenvolvido consiste em uma bengala customizada e um sistema eletrônico embarcado. O funcionamento baseia-se no uso de um microcontrolador, alimentado a bateria, que processa dados captados por um sensor de distância, para identificar obstáculos no trajeto do usuário e notificá-lo quando necessário por meio de motor de vibração. Na primeira fase de desenvolvimento, o dispositivo foi construído com uma bengala branca e uma placa de desenvolvimento Arduino. Após passar por uma fase de testes, incluindo a participação de pessoas com deficiência, foi feita a validação da tecnologia, apontada uma melhoria real para locomoção daqueles que participaram. Ainda foram levantados os aperfeiçoamentos necessários para o desenvolvimento da versão final. Nesta, foram construídas uma bengala e uma placa de circuito impresso para a eletrônica, visando a simplicidade de uso, com a redução do tamanho, custo e dificuldade de implementação. Nos testes finais, a tecnologia foi novamente validada, atendendo com as expectativas dos usuários. Ainda foram levantadas sugestões de melhoria para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Desenvolvimento; Deficiência visual; Locomoção.

## **ABSTRACT**

Visual impairment limits the full and effective participation of people in society on an equality with others. At any degree, it compromises the ability to orient and move in space with complete safety and independence, being beneficial the use of some tool or technique as mobility aid. This work is about the development of assistive technology for visually impaired people, whose purpose is to improve their mobility by identifying obstacles in their path, so that it can be safely traveled. The design and functionalities of the device were developed according to suggestions received from potential users, focusing on aspects such as ergonomics, portability and discretion of the tool. The device developed consists of a custom cane and an embedded electronic system. The operation is based on the use of a battery-powered microcontroller that processes data captured by a distance sensor to identify obstacles in the user's path and to notify the user when required by a vibration motor. In the first stage of development, the device was built with a cane and an Arduino development board. After a testing phase, with participation of people with disabilities, the technology was validated, called as a real improvement in locomotion of those who participated. Then, the necessary improvements for the development of the final version were wrote down. Finally, a custom cane and a printed circuit board for the electronics were built, aiming at simplicity of use, reducing the size, cost and difficulty of implementation. In the final tests, the technology was again validated, meeting user expectations. Suggestions for improvement for future work were received.

**Keywords:** Development; Visual impairment; Mobility.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bengala branca dobrável. ....	18
Figura 2: Bengala eletrônica. ....	19
Figura 3: Pulseira com sensor. ....	19
Figura 4: Pulseira Sunu Band. ....	20
Figura 5: Modelo 3D dos óculos com sensor. ....	21
Figura 6: Visual do sistema vestível de auxílio à locomoção. ....	22
Figura 7: Exemplo de estrutura típica de um sistema embarcado. ....	23
Figura 8: Modelo de desenvolvimento utilizado. ....	25
Figura 9: Arquitetura do Sistema. ....	27
Figura 10: Modelo básico da bengala e sua composição. ....	28
Figura 11: Dispositivo com sensor único. ....	29
Figura 12: Dispositivo com dois sensores. ....	29
Figura 13: Conexões da placa de desenvolvimento Arduino Nano. ....	31
Figura 14: Características do sensor ultrassônico HC-SR04. ....	32
Figura 15: Características do sensor VL53L0X. ....	32
Figura 16: Motores de vibração. ....	33
Figura 17: Atuador de vibração linear. ....	34
Figura 18: Esboço inicial do diagrama do circuito eletrônico. ....	34
Figura 19: Diagrama do circuito eletrônico. ....	36
Figura 20: Primeira versão do sistema eletrônico. ....	37
Figura 21: Primeira versão montada. ....	38
Figura 22: Exemplo de vasos suspensos. ....	42
Figura 23: Árvore do cenário de teste. ....	43
Figura 24: Orelhão do cenário de teste. ....	43
Figura 25: Cesto de lixo suspenso. ....	44
Figura 26: Placa do protótipo com <i>powerbank</i> como alimentação para testes. ....	45
Figura 27: Dupla movimentação. ....	46
Figura 28: Participante com deficiência visual durante os testes. ....	47
Figura 29: Primeira posição mais comum de segurar a luva. ....	49
Figura 30: Segunda posição mais comum de segurar a luva. ....	49
Figura 31: Diagrama do sistema de controle e de <i>drive</i> . ....	51
Figura 32: Cabo USB magnético utilizado para carregamento. ....	53

Figura 33: Diagrama do sistema de alimentação do circuito. ....	55
Figura 34: Vista frontal da projeção 3D da PCI.....	56
Figura 35: Vista traseira da projeção 3D da PCI.....	56
Figura 36: Vista frontal da projeção 3D da PCI com componentes.....	56
Figura 37: Vista traseira da projeção 3D da PCI com componentes.....	57
Figura 38: Foto frontal da PCI. ....	57
Figura 39: Foto traseira da PCI. ....	57
Figura 40: Foto frontal da PCI montada. ....	58
Figura 41: Foto traseira da PCI montada. ....	58
Figura 42: Foto da PCI montada com o sensor e parafusos de fixação. ....	58
Figura 43: Sistema eletrônico finalizado.....	59
Figura 44: Dimensões da placa para fixação na bengala. ....	59
Figura 45: Vistas 2D para o cano PVC. ....	60
Figura 46: Molde em cano PVC com sistema eletrônico montado.....	61
Figura 47: Vistas 2D do para o modelo em alumínio. ....	62
Figura 48: Processo de fabricação da bengala por torneamento. ....	63
Figura 49: Foto frontal do modelo em alumínio. ....	63
Figura 50: Foto lateral do modelo em alumínio.....	64
Figura 51: Luva da bengala com circuito eletrônico montado.....	64
Figura 52: Indicador de orientação da bengala. ....	65
Figura 53: Versão final montada e estendida. ....	66
Figura 54: Vista 2D do modelo em alumínio com abertura maior. ....	68
Figura 55: Versão final dobrada com ajuste da abertura.....	69
Figura 56: Versão final em teste. ....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características identificadas nos sensores de distância.....	39
Tabela 2: Consistência de medições com o Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	40
Tabela 3: Consistência de medições com Sensor Óptico VL53L0X. ....	41
Tabela 4: Medições de consumo do circuito.....	67
Tabela 5: Autonomia estimada do circuito. ....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADC – *Analog-to-Digital Converter*  
API – *Application Programming Interface*  
ASIC – *Application-Specific Integrated Circuit*  
CADEVI – Centro de Apoio ao Deficiente Visual  
CI – Circuito Integrado  
CPU – *Central Processing Unit*  
DAC – *Digital-to-Analog Converter*  
FPGA – *Field-Programmable Gate Array*  
GPS – *Global Positioning System*  
HMI – *Human-Machine Interface*  
I/O – *Digital Input/Output*  
I2C – *Inter-Integrated Circuit*  
ICSP – *In-Circuit Serial Programming*  
LED – *Light-Emitting Diode*  
MOSFET – *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor*  
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora  
OLED – *Organic Light-Emitting Diode*  
PCI – Placa de Circuito Impresso  
PWM – *Pulse Width Modulation*  
SMD – *Surface Mount Device*  
SPI – *Serial Peripheral Interface*  
USB – *Universal Serial Bus*  
USART – *Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter*

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	13
1.1.	Considerações Iniciais .....	13
1.2.	Objetivos .....	14
1.3.	Estrutura do trabalho .....	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1.	Discussões com Pessoas com Deficiência Visual.....	16
2.2.	Tecnologias Assistivas.....	17
2.2.1.	Bengala Branca .....	18
2.2.2.	Bengalas Eletrônicas .....	18
2.2.3.	Pulseira com Sensor .....	19
2.2.4.	Óculos com Sensor.....	20
2.2.5.	Sistema Vestível.....	21
2.3.	Sistemas Embarcados .....	22
3.	DESENVOLVIMENTO .....	25
3.1.	Fase 1 – Criação do Sistema .....	26
3.1.1.	Concepção do Produto .....	26
3.1.2.	Análise dos Requerimentos.....	26
3.1.3.	Design da Arquitetura .....	27
3.1.4.	Desenvolvimento da Primeira Versão.....	27
3.1.5.	Testes e Recebimento de Feedback.....	38
3.1.6.	Análise dos Testes e Feedbacks .....	50
3.2.	Fase 2 – Implementação do Sistema.....	50
3.2.1.	Desenvolvimento da Versão Final .....	51
3.3.	Fase 3 – Testes do Sistema .....	66
3.3.1.	Testes e Recebimento de Feedback Finais.....	67
3.3.2.	Análise dos Testes e Feedback Finais .....	71
4.	CONCLUSÃO .....	73
	REFERÊNCIAS.....	74

## **1. INTRODUÇÃO**

Com o envelhecimento populacional e a maior expectativa da vida em todo o globo, houve um aumento significativo de pessoas com deficiência na sociedade. Estima-se que 15% da população viva com algum tipo de deficiência e que 3% experimentem dificuldades consideráveis (OMS, 2011). Em todo o mundo, pessoas com quaisquer tipos de deficiência apresentam piores perspectivas de vida devido à limitação da participação plena e efetiva na sociedade em condições de igualdade com as demais pessoas e por comprometer a qualidade de vida.

A visão é o canal mais importante de relacionamento do indivíduo com o mundo exterior. O impacto da deficiência visual, congênita ou adquirida, varia muito entre os indivíduos. Depende da idade em que ocorre, do grau da deficiência e da rotina diária. Mas em qualquer grau, compromete a capacidade das pessoas de se orientar e de se movimentar no espaço com plena segurança e independência (GIL, 2000). No Brasil, existem aproximadamente 45 milhões de deficientes, dos quais 7 milhões se enquadram como pessoas com deficiência visual de alta ou total perda de visão (IBGE, 2010).

A integração completa na sociedade exige, para pessoas com quaisquer deficiências, que todos os seus direitos sejam garantidos, como saúde, educação, emprego, transporte e informação. Tecnologias assistivas – qualquer equipamento, criado ou adaptado, com o intuito de melhorar a capacidade funcional de pessoas com deficiência (OMS, 2011) – quando adequadas ao usuário e seu ambiente, têm-se mostrado ferramentas poderosas no auxílio de garantia a esses direitos.

### **1.1. Considerações Iniciais**

Os principais métodos para auxílio de pessoas com deficiência visual são o uso de bengalas táteis, bengalas de rolete e o cão guia. Ainda que eficientes, esses possuem limitações: as bengalas brancas têm limitações para percepção de certos obstáculos, principalmente acima da linha da cintura; já um cão guia, envolve custo, complexidade e responsabilidade. Além disso, pessoas com deficiência visual afirmam sentir a necessidade de independência, incomodando-se com tratamentos diferenciados.

A aplicação de tecnologia para superar essas limitações vem sendo utilizada nos mais diversos projetos de automação de equipamentos para auxílio à locomoção, porém poucos tiveram êxito. O desenvolvimento deste tipo de projeto necessita que os usuários alvo sejam

consultados, para início do projeto, e que sejam feitos testes para aprimoramento e melhor resultado possível.

Se faz necessária a entrega de um hardware dedicado, para que o tamanho e custo do equipamento sejam otimizados, melhorando a aceitação pelos usuários e viabilizando a sua implementação em larga escala.

Este projeto, desde sua idealização, foi orientado com sugestões obtidas em encontros com potenciais usuários, pessoas com deficiência do Centro de Apoio ao Deficiente Visual (CADEVI). Para a entrega de um trabalho com contribuições na área pesquisada e no meio acadêmico, a execução do projeto também se orienta pela metodologia do trabalho científico e por princípios de pesquisa e desenvolvimento de produtos e de sistemas embarcados.

## **1.2. Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma tecnologia assistiva, capaz de melhorar a locomoção de pessoas com deficiência visual, através da identificação de obstáculos durante o processo de locomoção, para que este seja feito com maior segurança. Para isso, objetiva-se a criação de uma bengala customizada e um sistema eletrônico embarcado em placa de circuito impresso, equipado com um sensor de distância e um sistema de alimentação portátil. Assim, obtendo menor tamanho, custo e dificuldade de implementação.

Busca-se atingir a melhor configuração possível através da identificação e compreensão das necessidades e dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência visual durante sua locomoção, além de realizar testes práticos para aperfeiçoamento e validação do projeto junto aos usuários.

## **1.3. Estrutura do trabalho**

Na seção 1 – Introdução, é apresentada uma introdução ao tema de estudo de projeto, sendo feita uma análise geral, a citação do problema a ser abordado por este trabalho e as justificativas para a escolha deste. Também são apresentados os objetivos e a apresentação da estrutura do trabalho.

Na seção 2 – Referencial Teórico, é apresentada a fundamentação do trabalho, elaborada a partir de pesquisas bibliografias e através de discussões com público alvo.

Na seção 3 – Desenvolvimento, são apresentadas a concepção, os requerimentos, o processo de construção da tecnologia e os testes executados, sendo descritas as técnicas e decisões tomadas para a sua execução.

Na seção 4 – Conclusão, é apresentada a conclusão obtida a partir da execução do projeto, através da análise do cumprimento dos objetivos, dos destaques do desenvolvimento e do levantamento de sugestões de abordagens para trabalhos futuros.



## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção tem como objetivo construir um estudo para a fundamentação teórica do trabalho. Foram realizadas pesquisas junto a pessoas com deficiência visual, a fim de compreender as suas dificuldades na locomoção diária e debater possíveis soluções com o desenvolvimento de uma tecnologia assistiva.

Também foram feitas pesquisas bibliográficas sobre deficiência visual, tecnologias assistivas e soluções técnicas a fim de compreender técnicas realizadas e decisões tomadas para o melhor refinamento e aproveitamento deste projeto. Vantagens, falhas e possíveis melhorias são discutidas juntamente com o estudo realizado através dos relatos e da colaboração dos potenciais usuários da tecnologia desenvolvida.

### **2.1. Discussões com Pessoas com Deficiência Visual**

As pesquisas junto a pessoas com deficiência visual tiveram como objetivo a compreensão das particularidades da mobilidade diária dessas pessoas. Mais especificamente, foi feito o levantamento de características necessárias e desejadas pelos usuários para o desenvolvimento de uma tecnologia mais eficiente possível.

A primeira reunião realizada, no começo de janeiro de 2019, ocorreu durante a apresentação do Robô Lysa, cuja finalidade é auxiliar a locomoção como um cão guia faz (SÔNEGO, 2017). Foram compreendidas as primeiras características desejadas, a partir do debate acerca do robô.

Para os presentes, tecnologias que venham a auxiliar sua locomoção são muito bem-vindas, no entanto, devem ser consideradas algumas características essenciais, além da funcionalidade da ferramenta em si, como a ergonomia, a portabilidade e a descrição. Essas características têm sempre como base a comparação com a bengala branca, que é a ferramenta mais aceita e utilizada por pessoas com deficiência visual.

Por se tratar de uma ferramenta a qual deve ser utilizada diariamente, no mínimo 3 horas por dia, dado que o tempo de deslocamento de uma pessoa em São Paulo é aproximadamente 2 horas e 30 min (SILVA, 2019), a ergonomia é importante para que seja confortável e não canse o usuário. Logo, o dispositivo deve ser leve e anatômico.

A portabilidade é fundamental em se tratando de locomoção. O uso do dispositivo não pode de forma alguma comprometer algum aspecto da mobilidade, ainda que venha a agregar outros benefícios. Não pode haver limitações de uso como determinados tipos de relevo ou clima. O tamanho deve ser pequeno para não atrapalhar a movimentação durante o trajeto. E

não pode haver dependência de fios ou curta autonomia, que deve ser compatível à média apontada de 3 horas.

A descrição da tecnologia assistiva foi um dos pontos mais importantes identificados. Dispositivos demasiadamente chamativos tem um alto índice de rejeição, mesmo apresentando melhorias para a locomoção dos usuários. Os usuários preferem passar por despercebidos sempre que possível, evitando receber tratamento diferenciado ou mesmo passar por discriminação.

Muitos dos equipamentos considerados indiscretos têm sensores em regiões como no rosto, para facilitar a detecção de obstáculos acima da linha da cintura, como placas ou árvores, que oferecem risco de colisão principalmente à cabeça. Este é um ponto considerado muito importante, uma vez que é frequente este tipo de acidente.

Em uma reunião realizada com o representante da TM Bengalas – fabricante de bengalas para deficientes visuais – foram alguns modelos sugeridos para o desenvolvimento do projeto. Foi decidido que a melhor bengala para o desenvolvimento do produto seria a bengala dobrável por ter os gomos independentes, possibilitando o desenvolvimento do protótipo em apenas uma seção da bengala.

Na última reunião, realizada em abril no CADEVI, com as pesquisas já em finalização, foram discutidas com os possíveis usuários propostas mais maduras para o desenvolvimento do projeto. Uma delas, a de um dispositivo compacto do tamanho de um bastão sem nenhum tipo de contato com o solo, foi rejeitada. Segundos os membros do Centro, a bengala serve não somente para evitar a colisão com obstáculos, mas também para se orientar-se identificando as diferentes superfícies durante ao longo do trajeto através do tato com a bengala. Sendo assim, a ideia de um dispositivo compacto foi abandonada.

Nesta reunião, foi reforçado o desejo de um dispositivo discreto. E uma característica de uso foi observada: é comum que pessoas com deficiência visual portem mais de uma bengala, por motivo de prevenção de quebras ou perdas ao longo do dia. Assim, foi idealizada uma bengala dobrável, leve, com um circuito embutido recarregável, fácil de ser transportada e com alertas vibratórios para a identificação de obstáculos acima da linha da cintura.

## **2.2. Tecnologias Assistivas**

Com base nas informações levantadas, foi realizado um estudo bibliográfico, sendo selecionados trabalhos de tecnologias assistivas que apresentam soluções para problemas relacionados à locomoção, a fim de compreender técnicas utilizadas e decisões tomadas para o melhor refinamento e aproveitamento deste projeto. Junto à apresentação das obras, são

discutidas as vantagens, falhas e possíveis melhorias de cada com base nas informações obtidas nas pesquisas com os usuários.

### **2.2.1. Bengala Branca**

Os primeiros passos para inclusão de pessoas com deficiência visual foram dados após a Segunda Guerra Mundial, quando houve um aumento significativo de pessoas com deficiência, principalmente dentro do exército, devido às lesões causadas durante os combates. Com o objetivo de melhorar a capacidade de se locomover de forma independente, daqueles que sofreram perda parcial ou total da visão, o Tenente Oftalmologista Richard Hover, usou a antiga bengala branca (Figura 1) adaptada, com material e comprimento diferente, possibilitando que, através do toque da ponta da bengala, a pessoa com deficiência visual conseguisse sentir todas as sensações táteis do ambiente (MELO, 2001). A principal falha destas bengalas, no entanto, é que são incapazes de permitir o usuário de se proteger contra obstáculos acima do solo, como mesas, árvores, orelhões e fios de tensão.



Figura 1: Bengala branca dobrável.

Fonte: Dos autores.

### **2.2.2. Bengalas Eletrônicas**

Há dois tipos de bengalas eletrônicas mais encontradas em pesquisas de estudo. A primeira, a bengala eletrônica de baixo custo, consiste em uma bengala com sensores ultrassônicos, como na Figura 2, que vibram quando se deparam com obstáculos. A segunda, a bengala inteligente, possui GPS e é que é capaz de traçar rotas. Contudo, nenhuma dessas

bengalas foram encontradas à venda, apenas protótipos desenvolvidos principalmente em meios acadêmicos.



Figura 2: Bengala eletrônica.

Fonte: BUENO (2010).

### 2.2.3. Pulseira com Sensor

O dispositivo denominado como ARGOS (Figura 3) foi desenvolvido para detectar obstáculos acima da linha da cintura (RIBEIRO, 2010). Ele possui dois modos de operação que variam a vibração com a distância de disparo, podendo-se optar por 1 m ou 2 m. A desvantagem deste modelo é que ele não consegue identificar obstáculos abaixo da linha da cintura, como desníveis no solo e obstáculos nas laterais.



Figura 3: Pulseira com sensor.

Fonte: RIBEIRO (2010).

Já o dispositivo denominado como Sunu Band – Pulseira Detectora de Obstáculos (Figura 4) é encontrado à venda, sendo desenvolvido para detectar obstáculos acima da linha da cintura (CIVIAM, 2019). O dispositivo permite configuração do alerta de obstáculos, podendo-se optar por 30 cm até 5 m. A pulseira ainda pode-se conectar com o celular para configuração e integração de recursos.



Figura 4: Pulseira Sunu Band.

Fonte: CIVIAM, 2019.

A desvantagem deste modelo é que ele não dispensa o uso da bengala, e ainda faz com que os dois braços fiquem ocupados: um segurando a bengala e o outro encostado ao corpo mantendo a pulseira apontada para frente. Outro ponto crítico é o alto preço de venda, variando de R\$ 2.250,00 até R\$ 2.500,00.

#### **2.2.4. Óculos com Sensor**

Um tipo de dispositivo encontrado com certa frequência em projetos são os óculos com sensor. Consistem em um par de óculos com um sensor acoplado logo acima do nariz (GONZATTO, 2010), permitindo a detecção de objetos acima da linha da cintura. Para

identificação de desníveis no solo e objetos logo acima deste, os óculos devem ser utilizados em conjunto com uma bengala.

Tal dispositivo, no entanto, não é encontrado para venda. O motivo é o desinteresse devido ao equipamento ser indiscreto, estando visível a todo momento no rosto dos usuários. Além dos óculos em si, também há a unidade de controle separada (Figura 5), que precisa ser alocada em um bolso largo ou em uma mochila.

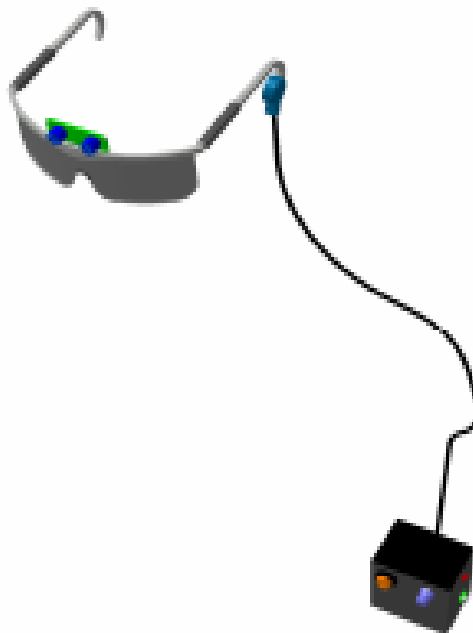


Figura 5: Modelo 3D dos óculos com sensor.

Fonte: GONZATTO (2010).

#### 2.2.5. Sistema Vestível

A última tecnologia assistiva estudada é o Sistema Vestível de Jonas Neto (2016), da Figura 6. Este equipamento é o mais completo em relação aos demais, por conseguir proteger o usuário contra obstáculos em todas as alturas, possibilitando desvios com facilidade. Contudo, não é aceito por dois motivos: é demasiadamente chamativo, causando desconforto ao usuário e existe dificuldade de o usuário vestir o equipamento sozinho.



Figura 6: Visual do sistema vestível de auxílio à locomoção.

Fonte: NETO (2016).

### 2.3. Sistemas Embarcados

Tecnologias assistivas são projetadas para auxiliar pessoas a superar dificuldades em seu dia-a-dia. Para que cumpram o seu papel, tais tecnologias necessitam de certo grau de automação, isto é, realizarem processos independentes da ação humana (GROOVER, 2010).

Para Groover, uma das formas de se criar um processo automatizado é através de um sistema computacional, o qual executará uma lista de instruções para dirigir um processo automaticamente. Um sistema computacional pode ser de propósito geral, como um computador pessoal, ou de propósito único.

Sistemas embarcados constituem dispositivos de propósito único, o qual é determinado no momento do desenvolvimento. São mais simples, menores, mais baratos, usam menos energia e são menos suscetíveis a falhas e degradação de software e hardware do que dispositivos de propósito geral (WHITE, 2010). Sua desvantagem, é que, caso não estejam atendendo com eficiência o estreito objetivo pelo qual foram concebidos, realizar um ajuste pode envolver reprogramação de *firmware* ou até mesmo reelaboração do hardware, questões fora do domínio do usuário final.

Um sistema embarcado pode ter das mais diversas implementações, desde aplicações simples, de baixo poder de processamento, como sistemas auxiliares automotivos, até aplicações altamente robustas e complexas, como processamento de sinais para radares e

motores a jato, no campo militar (KOOPMAN, 1996). Mesmo com aplicações tão diversas, os sistemas embarcados tendem a apresentar uma estrutura típica a da Figura 7:

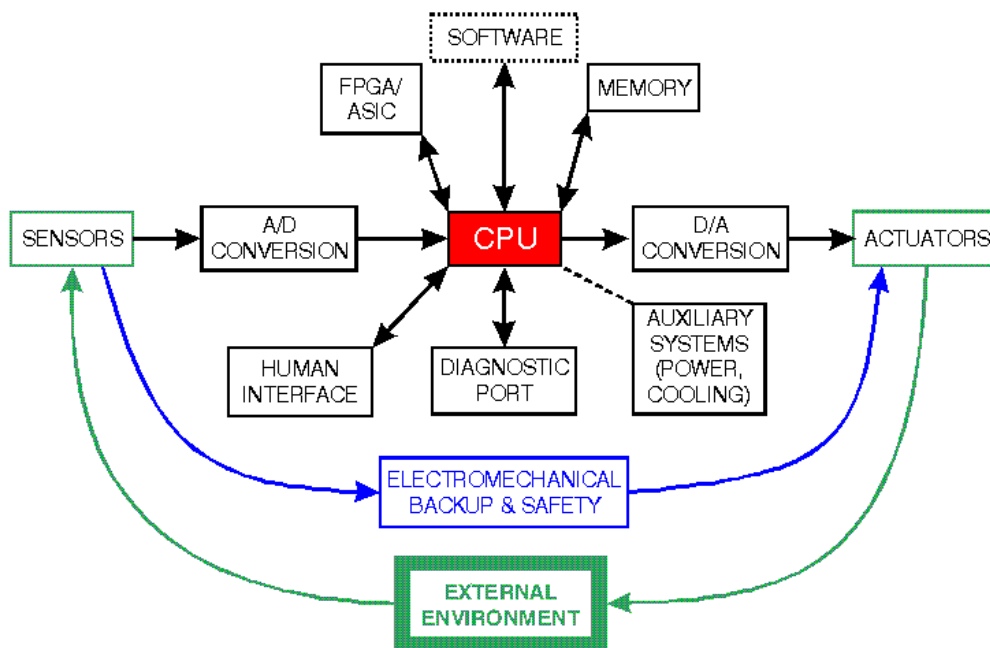


Figura 7: Exemplo de estrutura típica de um sistema embarcado.

Fonte: KOOPMAN (1996).

A estrutura típica de sistemas embarcados é composta por:

- Uma unidade de processamento central (CPU), seja um microcontrolador ou um microprocessador, responsável por executar uma lista de instruções, dada pelo *firmware*;
- Um *firmware*, software de baixo nível desenvolvido especificamente para controle do sistema em que é implementado;
- Unidades de memória externas ou internas, não volátil para armazenamento de instruções e dados, e volátil para o processamento de dados pela CPU;
- Unidades de processamento dedicado, como FPGA ou ASIC, para a execução eficiente de tarefas específicas;
- Sensores, responsáveis pela interface do sistema com o meio externo, captando informações e disponibilizando-as para processamento pela CPU. Podem contar com portas ADC internas, ou utilizar do microcontrolador;



- Atuadores, responsáveis pela interface do sistema com o meio externo, controlando mecanismos. Podem contar com portas DAC internas, ou utilizar do microcontrolador;
- Interface homem-máquina (HMI), a qual permite a interação entre o sistema e o usuário, para que este possa tomar decisões diante dos processos executados pelo sistema;
- Porta de diagnóstico, canal que possibilita a um técnico detectar possíveis problemas no sistema e realizar otimizações;
- Sistemas auxiliares, que operam com certa independência do controle da CPU, mas atuam no sistema, fornecendo energia, como sistemas de alimentação, ou provendo ventilação, por exemplo.

### 3. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento da tecnologia assistiva. A metodologia utilizada neste projeto (Figura 8) foi baseada no modelo de ciclo de vida de sistemas embarcados proposto por Tammy Noergaard (2012). Este método é uma combinação dos modelos de desenvolvimento cascata – no qual as etapas são seguidas linearmente até o fim – e o de espiral – no qual as etapas formam um ciclo, e ao final de cada loop, é entregue um produto e então, são coletados *feedbacks* da criação para serem utilizados na criação de um sucessor.

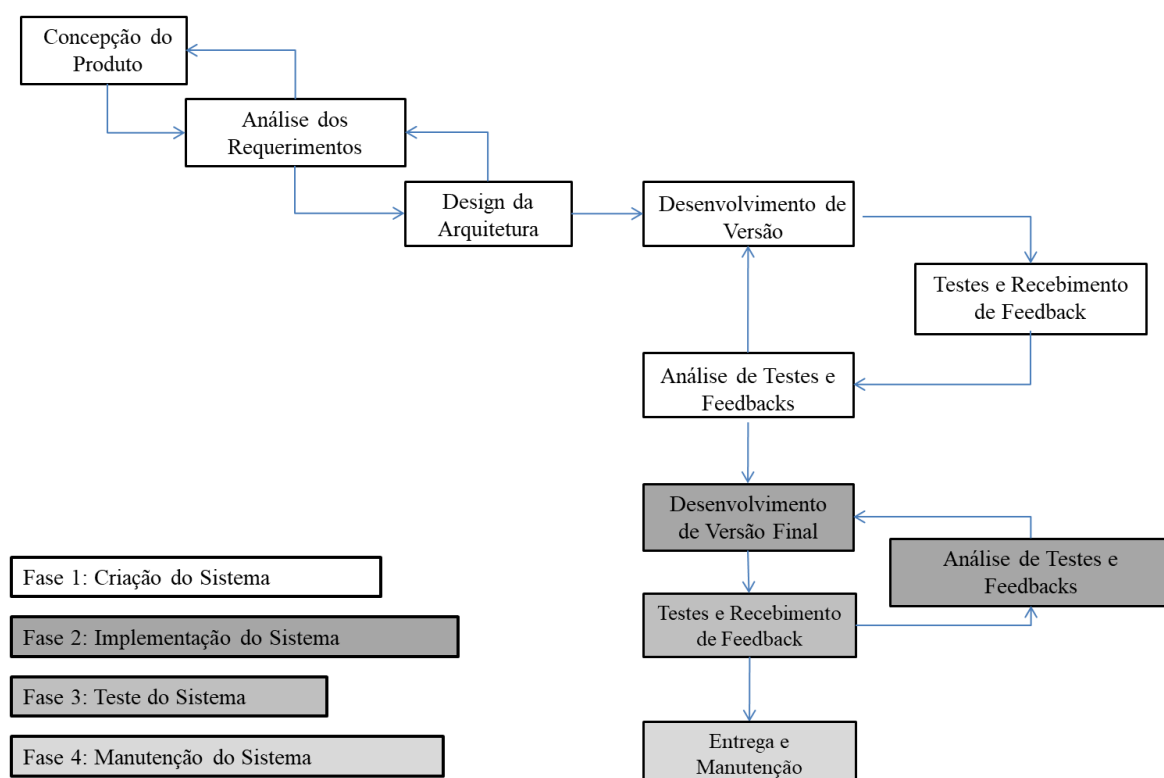


Figura 8: Modelo de desenvolvimento utilizado.

Fonte: NOERGAARD (2012). Traduzido e adaptado pelos autores.

Apoiado neste método, o dispositivo foi inicialmente concebido junto às pesquisas iniciais, desenvolvido parcialmente, e então, testado. A partir da análise dos testes e dos *feedbacks* recebidos, o desenvolvimento foi retomado para a realização de ajustes necessários e para a finalização do protótipo. Assim, a tecnologia assistiva passou por um melhor refinamento para o cumprimento de seu objetivo.

O modelo proposto conta com 4 fases, sendo elas a Criação, a Implementação, o Teste e a Manutenção do Sistema. Como a tecnologia assistiva desenvolvida durante este trabalho não foi comercializada, a fase de Manutenção não foi necessária.

### **3.1. Fase 1 – Criação do Sistema**

Nesta fase do Desenvolvimento, foi definida a concepção da tecnologia assistiva, como um produto para ser criado. Foram levantados os requisitos necessários para a sua construção e foi definida a arquitetura do sistema, para então ser iniciado o desenvolvimento em si. Foram realizados os testes preliminares, para a partir destes, serem levantadas as mudanças necessárias para melhor aperfeiçoamento.

#### **3.1.1. Concepção do Produto**

A partir das discussões realizadas com pessoas com deficiência visual e das pesquisas bibliográficas, estabeleceu-se que, para o auxílio da locomoção, a detecção de obstáculos à frente do usuário é fundamental, sobretudo de obstáculos acima da linha da cintura.

De forma a maximizar o potencial de uso da tecnologia assistiva, foi definido que esta deve consistir em um sistema embarcado, baseado na integração de uma bengala branca com circuito microcontrolado. A identificação de obstáculos deve ser feita com o uso de um sensor de distância, que fornecerá dados para um microcontrolador. Este, por sua vez, ao interpretar que há uma barreira, deverá gerar um discreto alerta, com rapidez e antecedências necessárias para que um possível desvio no percurso possa ser efetuado. Um potenciômetro deve ser usado para ajuste de sensibilidade, e um botão com trava para ligar e desligar o sistema.

Para cumprir com as exigências estabelecidas pelos possíveis usuários, em relação a ergonomia, o circuito eletrônico deve ser leve e ser acoplado a bengala de forma a não comprometer a sua usabilidade. Para a portabilidade, o circuito deve ser desenvolvido na fase final em uma placa de circuito impresso, de forma a reduzir o seu tamanho, e ser alimentado à bateria, com larga autonomia e facilmente recarregável. E por fim, para manter a discrição, o circuito deve gerar alerta tácteis, por meio de motores vibratórios, para que o usuário seja notificado de forma eficiente, porém discreta.

#### **3.1.2. Análise dos Requerimentos**

Para o desenvolvimento da tecnologia assistiva a partir das especificações obtidas, se fez necessária a criação de esboços para definição do design da Bengala, feitos pelo software SketchUp e AutoCAD. O desenvolvimento do circuito eletrônico se deu pelo software Proteus, para desenho do diagrama eletrônico, e do software Arduino IDE, para compilação do *firmware*.

Para a primeira versão, se fez necessária a aquisição de uma bengala branca, bem como uma placa de desenvolvimento para o circuito eletrônico, e os sensores e demais componentes, além de uma matriz de contatos e uma placa de fenolite para montagem do circuito.

Na versão final, para a criação da bengala customizada, foi desenvolvido um protótipo em PVC com vistas 2D elaboradas no software AutoCAD com as cotas, para então ser enviado a um fabricante para produzir uma versão em metal. O sistema eletrônico foi montado em uma placa de circuito impresso, também desenvolvido no Proteus. Finalizado o layout, este foi enviado para produção em uma fábrica especializada, para então, o conjunto da bengala e eletrônica ser montado pelos autores.

### 3.1.3. Design da Arquitetura

O sistema embarcado a ser desenvolvido foi baseado na estrutura típica de Koopman apresentada na Figura 7, na seção anterior, de forma a atender às características estabelecidas na etapa de concepção. A arquitetura, definida com o objetivo de estruturar o desenvolvimento do sistema embarcado, é apresentada na Figura 9:

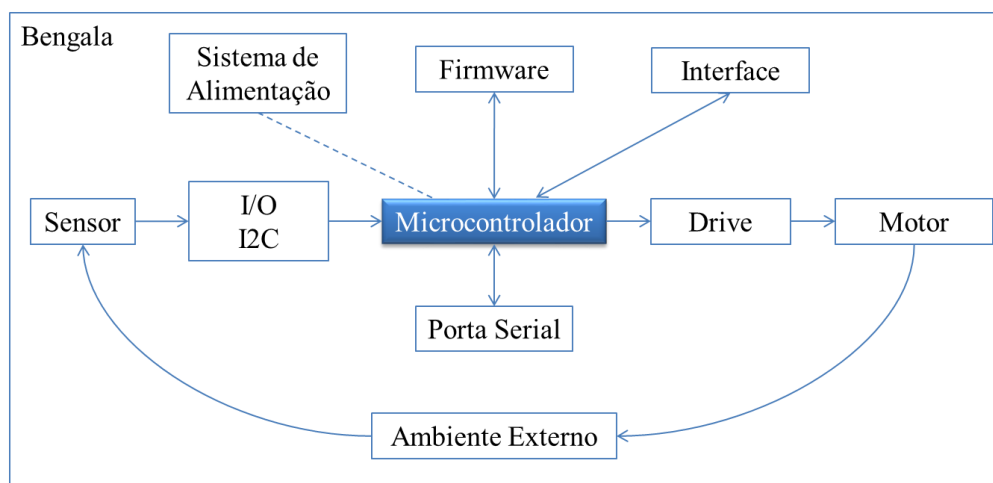


Figura 9: Arquitetura do Sistema.

Fonte: Dos autores.

### 3.1.4. Desenvolvimento da Primeira Versão

O desenvolvimento da primeira versão da tecnologia assistiva teve como objetivo a construção e definição de elementos essenciais do protótipo, para que este pudesse ser levado aos primeiros testes de campo, ser avaliado e receber os primeiros *feedbacks* para a execução

de ajustes necessários. Para que isto fosse possível, esta versão foi construída de modo a facilitar testes diversos e agilizar possíveis ajustes, sendo algumas características modificadas na etapa de desenvolvimento seguinte. O desenvolvimento foi iniciado com a definição da bengala e do arranjo de sensores a serem utilizados, para em seguida ser desenvolvido parcialmente o sistema eletrônico.

## Bengala

Para a criação da bengala customizada, foi analisada a sua composição. Ela é dividida em três partes, como mostra a Figura 10:

- Luva ou Punho: parte onde o usuário segura com a mão;
- Gomos: constituem o corpo da bengala, geralmente em números ímpares;
- Ponteira: parte que fica em contato com o chão, podendo ser a de rolete ou a tátil.

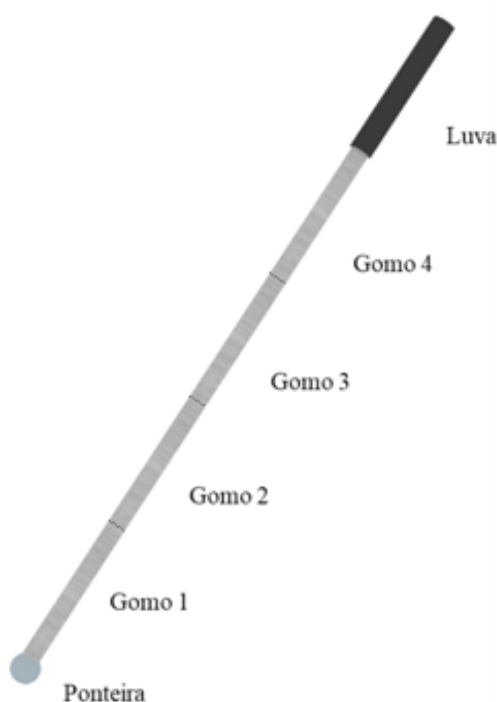


Figura 10: Modelo básico da bengala e sua composição.

Fonte: Dos autores.

Como a necessidade de detecção básica estabelecida foi a identificação de objetos acima da linha da cintura, se faz necessário o arranjo mínimo de um sensor com inclinação em relação ao solo entre 30° a 45°, como na Figura 11:



Figura 11: Dispositivo com sensor único.

Fonte: Dos autores.

Uma segunda possibilidade estudada foi a de um dispositivo com dois sensores, sendo um deles posicionado igualmente ao esquema anterior, para a detecção de obstáculos acima do solo, e outro no gomo 1 ou 2 a  $0^\circ$  em relação ao solo, para o auxílio a detecção de objetos a frente do usuário, como na Figura 12. Este segundo sensor teria como finalidade auxiliar a detecção de objetos com maior antecedência e em caso de o usuário não perceber o objeto durante o manejo da bengala, aumentando assim a segurança na locomoção.



Figura 12: Dispositivo com dois sensores.

Fonte: Dos autores.

No entanto, uma vez que os gomos inferiores são mais frágeis, sendo comumente quebrados durante o uso, um segundo sensor alojado nesta região seria também frequentemente danificado, aumentando consideravelmente o custo de manutenção do conjunto. Além disso, a complexidade da instalação aumentaria, devido a necessidade de fiação interna passando entre os gomos. Portanto, sendo considerado complexo e não essencial, o sensor para detecção de obstáculos à frente do usuário não será utilizado, sendo mantido o design do dispositivo com sensor único, da Figura 11.

Em relação ao tipo de modelo da bengala, foi realizada uma análise das bengalas dos integrantes do CADEVI, pela qual notou-se que os tipos mais comuns são as bengalas dos tipos dobrável e telescópica. Para diminuição da variabilidade para simplificação do desenvolvimento, optou-se por prosseguir com o protótipo em apenas um modelo de bengala.

Como com a bengala telescópica seria inviável o alojamento do circuito dentro dela, devido a retração dos gomos, foi escolhida a bengala dobrável, uma vez que o interior deste tipo de bengala comporta a eletrônica dentro de um único gomo, ficando menos exposta ao ambiente e a choques. Além disso, a bengala dobrável é uma bengala mais comum, tendo maior resistência e menor índice de quebra, possuindo um menor custo de manutenção.

Para os primeiros testes, devido ao tipo de montagem do circuito eletrônico, de tamanho grande, este foi montado externamente ao corpo da bengala.

### **Sistema Embarcado**

O início do desenvolvimento do sistema embarcado deu-se pela construção do sistema de controle. Como microcontrolador, foi adotado o ATMEGA328. Este componente possui flexibilidade para uso de diferentes tipos de sensores ao longo do desenvolvimento, devido aos múltiplos tipos de conexões, como I/O, ADC, PWM, USART, I2C e SPI. Dispõe de bom poder de processamento e de larga capacidade de memória de programa. Além disso, este controlador possui grande disponibilidade de documentação.

Inicialmente, para agilidade da prototipagem, foi escolhida a placa de desenvolvimento Arduino Nano. Esta placa conta com todos os tipos de conexões requeridas, possui pinos para uso em protoboard (Figura 13), gravador integrado e conversor serial embutidos, para uso via interface USB. Esses recursos facilitam a programação e o uso do microcontrolador, agilizando os testes iniciais e possíveis correções.

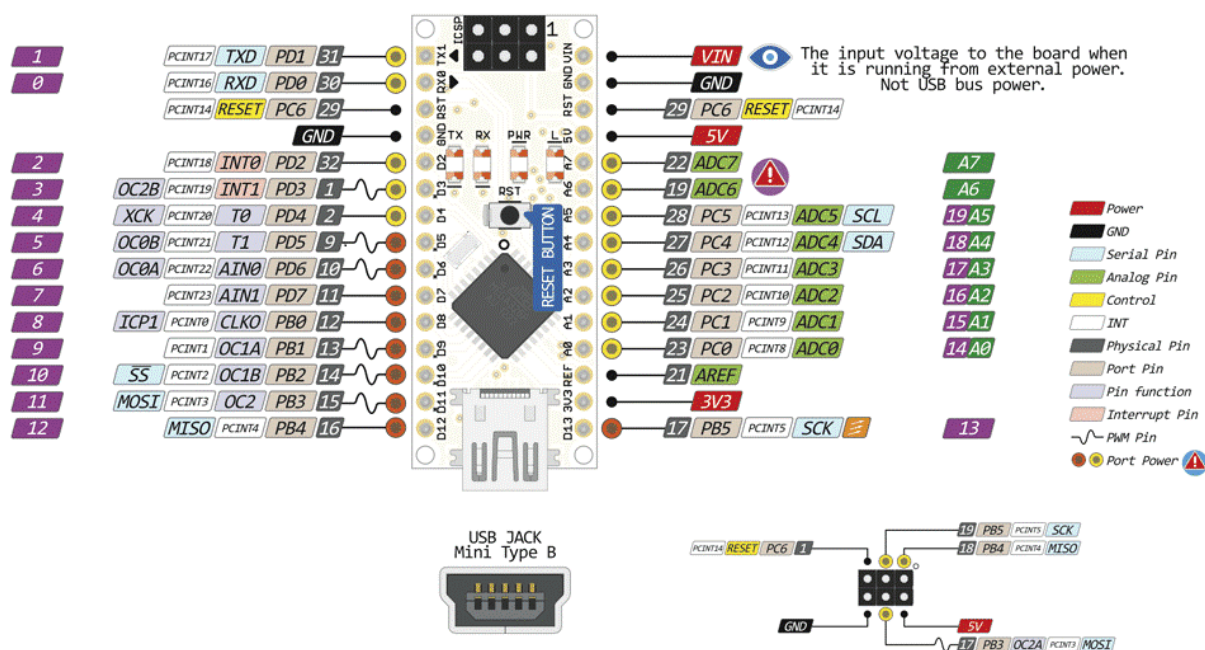


Figura 13: Conexões da placa de desenvolvimento Arduino Nano.

Fonte: PIGANTI, 2010.

O desenvolvimento prosseguiu com a escolha do sensor de distância. Os sensores para este projeto necessitam de uma distância máxima na ordem de metros, baixo consumo de energia, tempo de amostragem curto, tamanho reduzido, capacidade de detectar os mais diferentes tipos de materiais sob as mais diversas condições de ambiente, como luz e umidade, e precisam ter custo razoavelmente baixo.

Um tipo de sensor com características correspondentes é o sensor ultrassônico. Segundo Carullo e Parvis (2001), este sensor tem preço acessível, funciona para faixa de até alguns metros, é robusto contra condições ruidosas ao ar livre e condições ambientais distintas.

O HC-SR04 é um sensor ultrassônico facilmente encontrado, bem como sua documentação. Segundo o *datasheet* do sensor, elaborado pela Cytron Technologies (2013), ele possui características de interesse para este projeto, como distância máxima de 4 metros, consumo relativamente baixo, com pico de 15 mA, resolução de 0,3 cm. A faixa de detecção é de 30°. Apenas o tamanho é acima do desejado, possuindo cerca de 43 x 20 x 15 mm. Na Figura 14, consta o desenho do sensor, seu tamanho e um mapa da faixa de detecção.



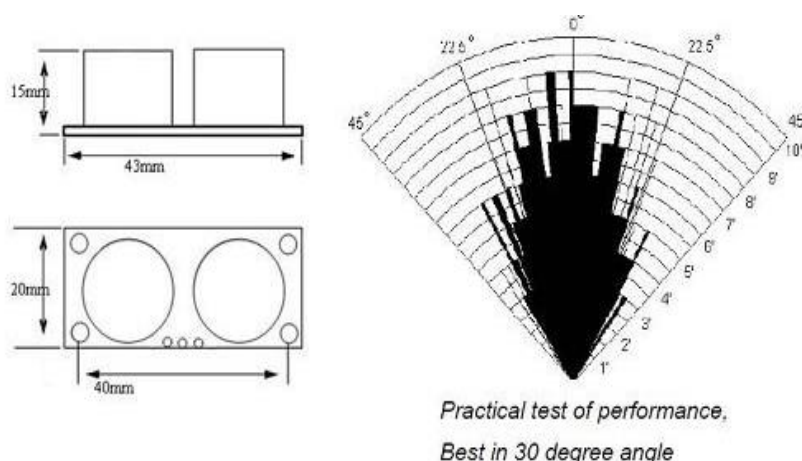


Figura 14: Características do sensor ultrassônico HC-SR04.

Fonte: CYTRON TECHNOLOGIES (2013).

Outro tipo de sensor estudado tem características de acordo com a necessidade deste projeto. Segundo Morris (2010), o sensor óptico é baseado na modulação da luz viajando entre uma fonte e um detector. Tal forma de transmissão garante maior resistência a ruídos.

Assim como os sensores ultrassônicos, os sensores ópticos utilizam-se de um emissor e um receptor, geralmente um LED e um fototransistor infravermelhos, respectivamente. Estes sensores são fisicamente compactos, resistentes a choques e condições ambientais variadas.

O sensor óptico escolhido para testes foi o VL53L0X. Segundo o *datasheet* do fabricante, a STMicroelectronics (2018), tem alcance máximo de 2 m, filtros infravermelhos, que garantem resistência contra interferência de luz solar, detecção precisa para superfícies de quaisquer refletâncias e consumo de 20 mW. O módulo utilizado do sensor possui tamanho compacto, de apenas 20 x 13 mm. O feixe de emissão é de 30°, enquanto o de recepção possui 25°, como esquematizado na Figura 15. O custo, em torno 4 dólares, é maior que o HC-SR04, na faixa de 1 dólar, mas ainda acessível. (DIY PROJECTS, 2018).

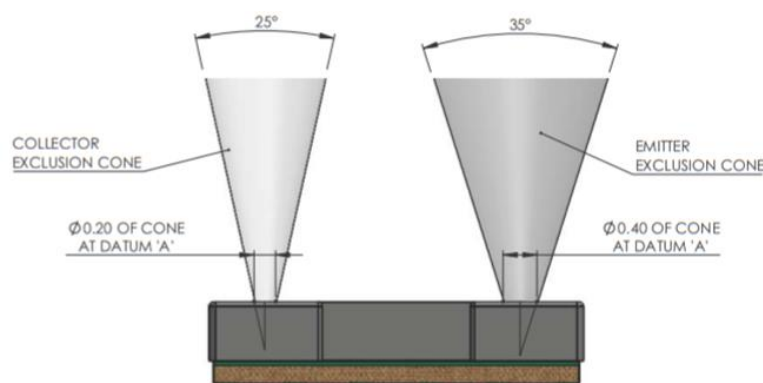


Figura 15: Características do sensor VL53L0X.

Fonte: STMICROELECTRONICS (2018).

O circuito eletrônico foi inicialmente esboçado em matriz de contatos, para então, em seguida, ser montado com todos os periféricos necessários para ser levado aos primeiros testes de campo e receber os primeiros *feedbacks*.

Os primeiros passos consistiram no estabelecimento da ligação da placa Arduino aos sensores HC-SR04 e VL53L0X, e na elaboração de um circuito para controle do atuador.

Para a leitura das distâncias aferidas pelos sensores, foi necessária a criação de um *firmware* capaz de controlar o sensor ultrassônico, através do controle dos pinos Trigger e da leitura do pino Echo, o qual responde com um tempo de acordo com a distância medida, após o disparo do primeiro pino. Para o sensor óptico, foi necessário o uso da API disponibilizada pelo fabricante para realizar a comunicação que é feita via rede I2C, sendo necessária também a inclusão de pinos *pull-up* nos pinos SDA e SCK da rede. Os dados gerados pelos sensores foram obtidos através da conexão da placa de desenvolvimento com um computador via rede Serial.

Para a geração de alertas para o usuário, foi escolhido o motor de vibração. Este pequeno motor, ao ser ligado, vibra com intensidade de acordo com a tensão aplicada. Para que as vibrações não sejam dispersadas e que possam ser sentidas na mão do usuário, se faz necessária uma boa fixação na parede da bengala para que a intensidade da vibração do motor possa ser sentida. Foram escolhidos dois tipos de motores para os testes. O primeiro, da Figura 16, consiste em um motor de corrente contínua com uma massa desbalanceada em seu eixo, e o segundo, da Figura 17, um atuador de vibração linear, com tamanho reduzido e sem partes móveis expostas.

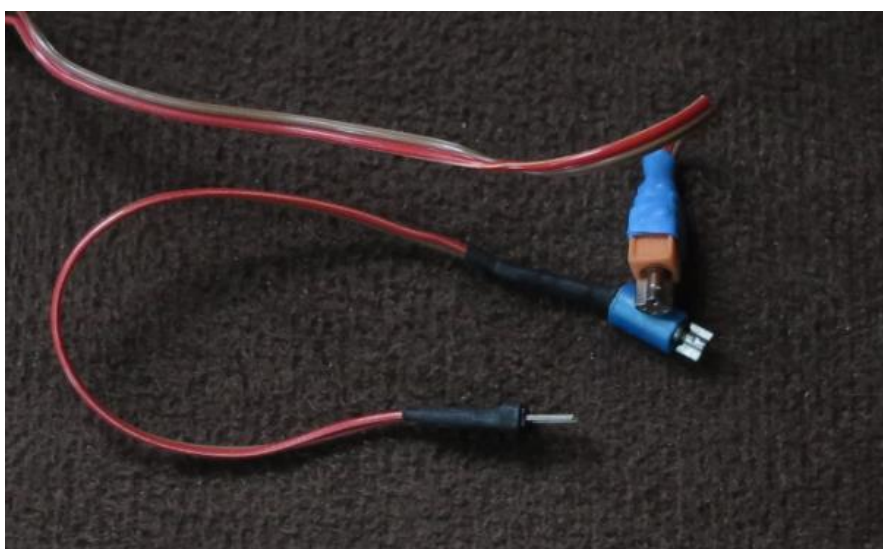


Figura 16: Motores de vibração.

Fonte: Dos autores.

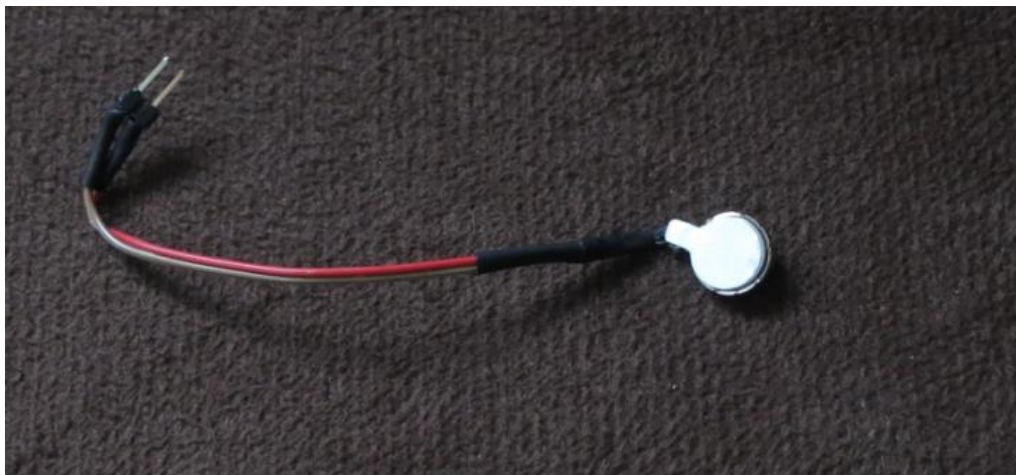


Figura 17: Atuador de vibração linear.

Fonte: Dos autores.

Para controle do atuador, uma vez que as portas digitais do microcontrolador não suportam a corrente demandada, foi necessária a implementação de um circuito de drive.

O esboço do diagrama criado consta na Figura 18:

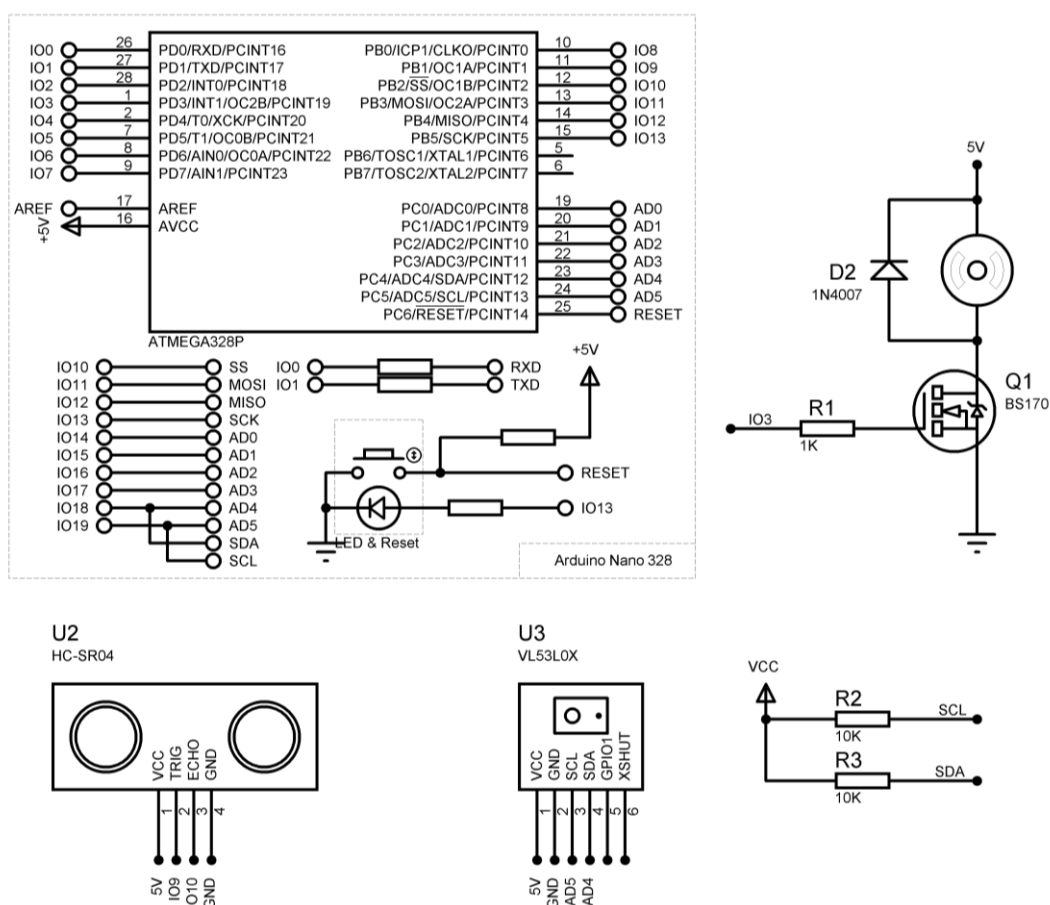


Figura 18: Esboço inicial do diagrama do circuito eletrônico.

Fonte: Dos autores.

Foi utilizado um MOSFET BS170 controlado por uma porta lógica do microcontrolador, um resistor de 1 k $\Omega$  ligado ao Gate do MOSFET, um diodo 1N4007 de *flyback* e o motor, alimentado por uma tensão de 5 V, fornecida pela ligação da placa Arduino via USB.

O *firmware* foi programado para que caso a distância aferida por um dos sensores fosse menor que uma distância fixa estipulada, o motor fosse acionado via controle por PWM.

Com o circuito básico consolidado, o desenvolvimento prosseguiu com a expansão. Para a possibilidade de testes com dois sensores simultaneamente, foi adicionado um segundo circuito de drive para que cada sensor gerasse alertas independentemente. Também foi implementado um *buzzer* cuja finalidade foi auxiliar os integrantes na identificação do alerta vibratório sentido por um usuário durante os testes.

Para melhorar a portabilidade do circuito, tornando-o independente do computador, para o diagnóstico do circuito foi adotada uma tela OLED. Como fonte de alimentação, até então via USB do computador, foi adotado um sistema de alimentação portátil.

Devido ao uso recorrente do dispositivo, se faz ideal o uso de uma célula de carga recarregável. Foi utilizada uma bateria de íons de lítio junto com um módulo de carga de *powerbank*. Este foi empregado com o objetivo de permitir o uso de uma bateria recarregável, através do controle da tensão da bateria e de sua recarga. Assim, a tensão da bateria que é de 2,75 V a 4,2 V (SOFIRN, 2019) é convertida para os 5 V exigidos pela placa de desenvolvimento Arduino. E a recarga é administrada pelo circuito para impedir sobretensão e consequente deterioração da bateria.

Para permitir que nos testes pudesse ser determinada a distância ideal do disparo do sistema de alerta, este foi modificado para ser ajustável. Através da implementação no circuito de um potenciômetro para cada sensor, a distância a qual serve de referência, a identificação de um objeto pôde ser modificada.

Com todos componentes definidos, este circuito finalizado, desenhado na Figura 19, foi montado e programado para a primeira etapa de testes.

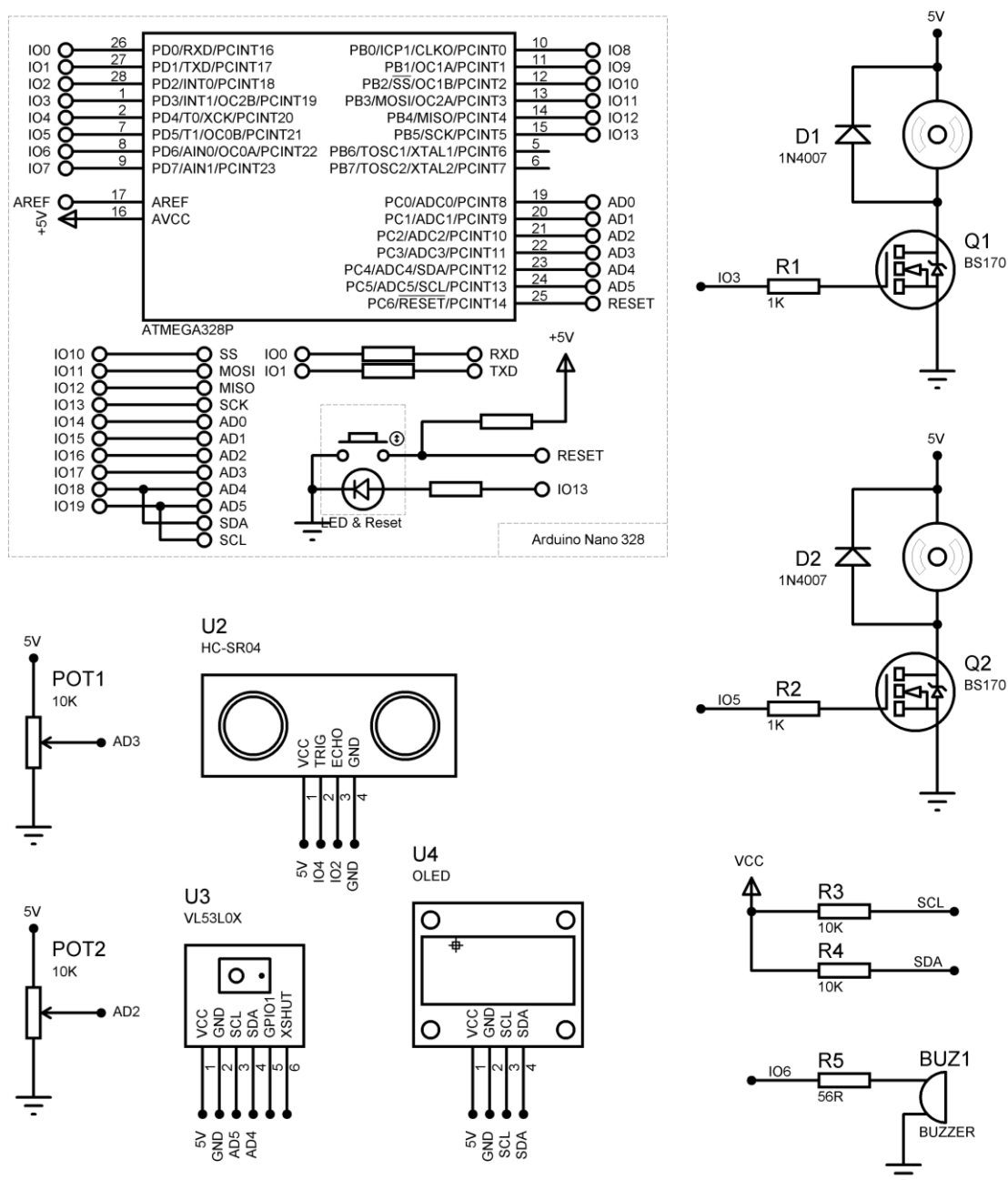


Figura 19: Diagrama do circuito eletrônico.

Fonte: Dos autores.

Os componentes foram soldados em uma placa de fenoliteilhada (Figura 20) para ter uma robustez maior para que o circuito pudesse ser levado a testes de campo. Apenas a placa Arduino Nano, os sensores e os motores foram ligados utilizando conectores, para facilitar a sua substituição em caso de danos.

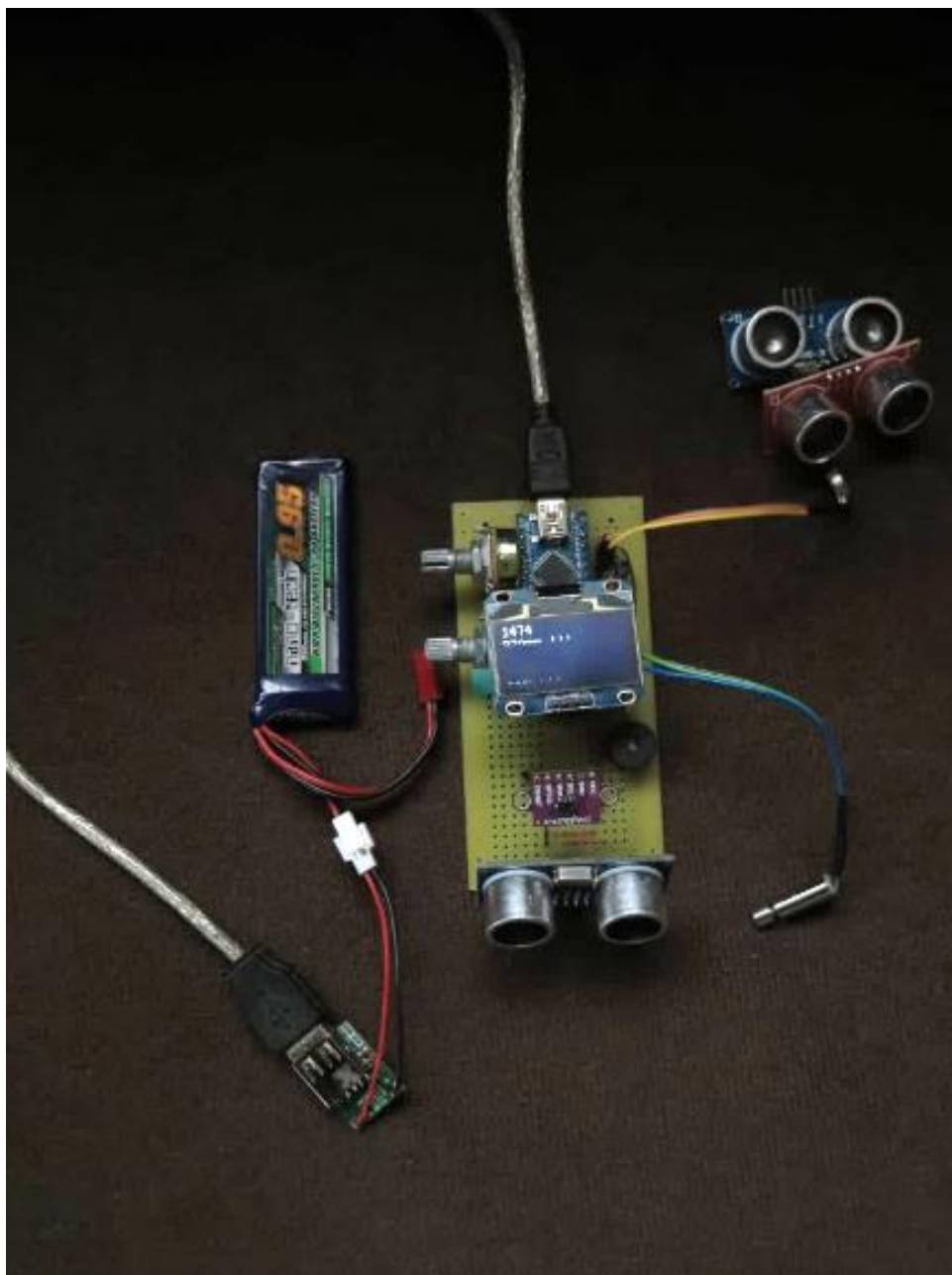


Figura 20: Primeira versão do sistema eletrônico.

Fonte: Dos autores.

Para os testes práticos, o sistema eletrônico foi montado na bengala dobrável (Figura 21) utilizando-se fita adesiva. Para evitar curtos na placa devido ao contato do corpo metálico da bengala com o circuito, a placa foi revestida com fita isolante.



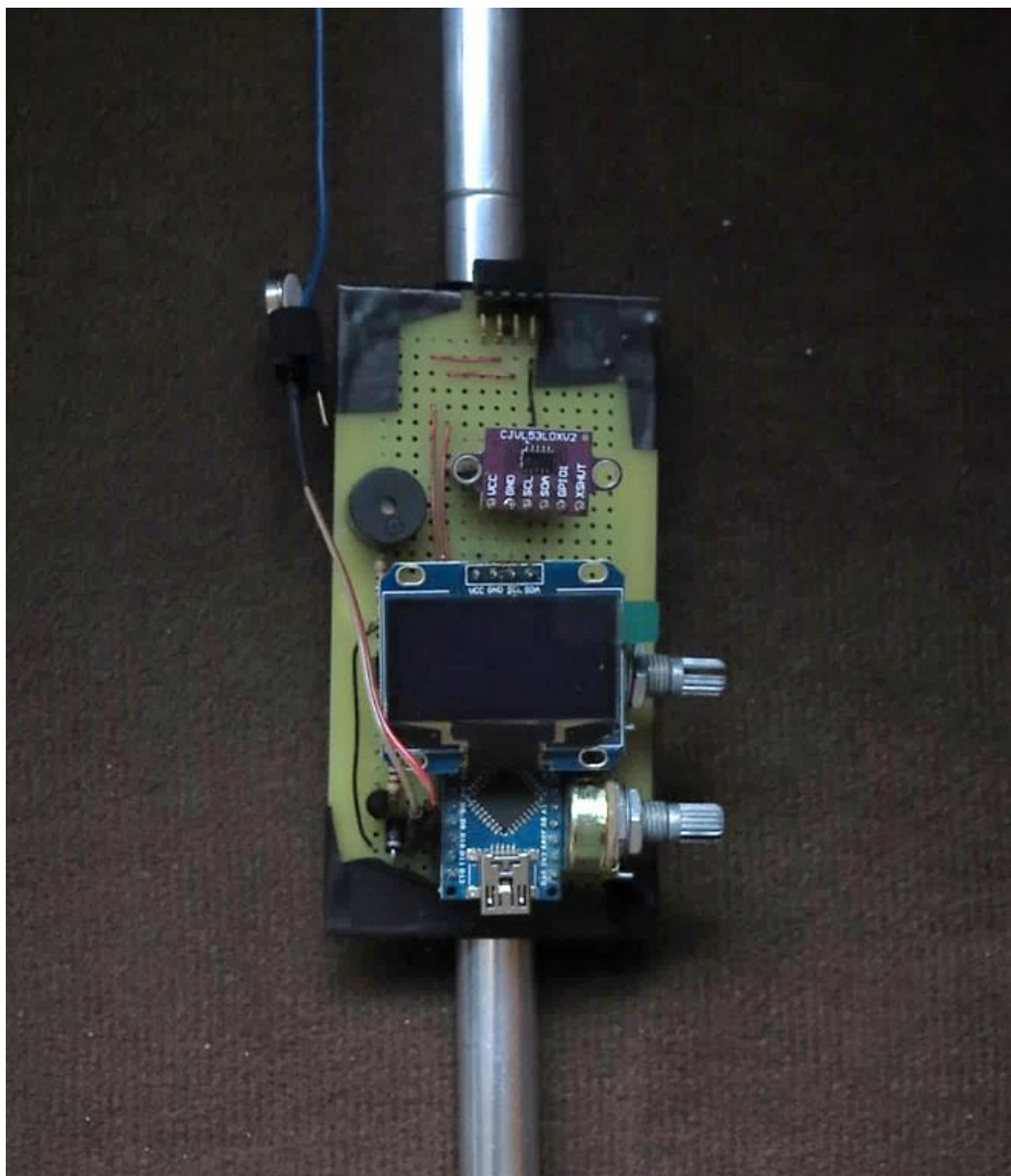


Figura 21: Primeira versão montada.

Fonte: Dos autores.

### 3.1.5. Testes e Recebimento de Feedback

Os testes da versão inicial do protótipo foram executados em três etapas, sendo elas os testes de desempenho, os testes em cenários controlados e os testes práticos.

#### Testes de Desempenho

A fim de checar o desempenho inicial do dispositivo criado, antes de testes práticos, e para realizar um estudo de qual sensor é mais adequado para implementação, se faz necessária a execução de testes preliminares.

Sendo assim, foram realizados testes para verificar o funcionamento dos sensores e de suas características, e checar se a implementação do circuito e do *firmware* foi executada corretamente. Foram feitas mensurações das distâncias máximas e mínimas, da resolução dos sensores e da estabilidade geral das medições, utilizando sempre como superfície uma parede branca com o sensor fixo perpendicularmente.

Para o sensor ultrassônico HC-SR04, foram identificadas como distância máxima 4 m e mínima de 3 cm. Esta faixa foi determinada, considerando valores medidos com estabilidade e precisão, uma vez que o sensor é capaz de medir além desses extremos, porém com grande irregularidade.

A resolução do sensor foi avaliada na ordem de 3 cm para medições até 1 m de distância e 5 cm para até de 2 m. Para distâncias maiores, o sensor perde grande precisão sendo a resolução de até 30 cm, devido a sua faixa de detecção de 30°.

Em termos de estabilidade geral, o sensor ultrassônico inicialmente apresentou falhas, congelando sua medição de tempos em tempos. Após a aplicação de uma técnica no *firmware* para reinício automático do sensor, ele passou a apresentar uma melhor estabilidade.

Outro problema detectado nos testes, foi a diferença de qualidade entre sensores HC-SR04 de diferentes fabricantes. De quatro amostras testadas, duas apresentaram constantes falhas de funcionamento.

Em relação ao sensor VL53L0X, a mensuração da distância mínima revelou que o sensor é capaz de medir a partir de 16 mm. No entanto, para a distância máxima, o teste revelou um limite padrão via *firmware* de 1,2 m, projetado, segundo o fabricante STMicroelectronics (2018), para garantir medições precisas em quaisquer tipos de situação. Um ajuste foi realizado no *firmware* para a troca desta predefinição, modificando o limite para distâncias de até 2 m. O sensor apresentou nos testes uma resolução de 1 cm, e medições com grande estabilidade.

Os dados obtidos foram organizados na Tabela 1:

Tabela 1: Características identificadas nos sensores de distância.

	HC-SR04	VL53L0X
<b>Distância mínima</b>	3 cm	1,6 cm
<b>Distância máxima</b>	400 cm	200 cm
<b>Resolução</b>	3 a 30 cm	1 cm



Em seguida, foram realizados testes qualitativos para a verificação da consistência das medições dos sensores com determinados tipos de materiais, superfícies inclinadas, reflexivas ou translúcidas, dentre os quais são comumente encontrados como obstáculos em percursos de caminhada.

As medições foram realizadas com os sensores perpendiculares aos objetos em movimento, repouso e em repouso com inclinação de 30°. Os dados obtidos para o sensor ultrassônico constam na Tabela 2 e para o sensor óptico na Tabela 3.

Tabela 2: Consistência de medições com o Sensor Ultrassônico HC-SR04.

	<b>Em movimento</b>	<b>Em repouso</b>	<b>Inclinado</b>
<b>Paredes</b>	Detectou	Falhas esporádicas	Detectou
<b>Lonas</b>	Detectou	Detectou	Falhas esporádicas
<b>Roupas</b>	Falhas esporádicas	Detectou	Falhas regulares
<b>Tecido de Renda</b>	Falhas esporádicas	Falhas consistentes	Falhas regulares
<b>Vidros</b>	Detectou	Detectou	Peq. Variação
<b>Espelhos</b>	Detectou	Detectou	Peq. Variação
<b>Metais</b>	Detectou	Detectou	Grande. Variação
<b>Plásticos</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Objetos finos</b>	Detectou	Detectou	Peq. Variação
<b>Obstáculos médios</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Obstáculos grandes</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Ângulos de alvenaria</b>	Falhas regulares	Falhas regulares	Falhas regulares

O sensor ultrassônico apresentou no geral bom desempenho na detecção de objetos rígidos e em sentido perpendicular, não havendo considerável diferença entre em repouso e movimento. No entanto, o sensor apresentou consideráveis falhas com tecidos e superfícies inclinadas, características já esperadas devido as características da onda emitida pelo sensor, que pode ser absorvida ou refletida, não retornando ao sensor para que ele possa calcular o tempo de viagem do pulso.

Ainda se notou durante os testes que o sensor ultrassônico apresentou menor rendimento quando posto ao lado de tecidos, não conseguindo identificar objetos rígidos, efeito possivelmente dado por uma interferência causada pela absorção da onda pelos tecidos.

Tabela 3: Consistência de medições com Sensor Óptico VL53L0X.

	<b>Em movimento</b>	<b>Em repouso</b>	<b>Inclinado</b>
<b>Paredes</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Lonas</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Roupas</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Tecido de Renda</b>	Detectou	Falhas esporádicas	Detectou
<b>Vidros</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Espelhos</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Metais</b>	Detectou	Detectou	Peq. Variação
<b>Plásticos</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Objetos finos</b>	Detectou	Detectou	Falhas esporádicas
<b>Obstáculos médios</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Obstáculos grandes</b>	Detectou	Detectou	Detectou
<b>Ângulos de alvenaria</b>	Detectou	Detectou	Detectou

O sensor óptico apresentou ótima consistência na detecção dos objetos testados, tanto em movimento e inclinado, sofrendo apenas eventuais falhas. Não houve diferença nas medições em relação à composição dos materiais dos objetos testados.

Uma característica notada no sensor óptico foi a faixa de detecção mais estreita, em comparação com o sensor ultrassônico que, no entanto, não se mostrou um problema na etapa de testes em cenários controlados devido a técnica de dupla movimentação.

### Testes em Cenários Controlados

Com o objetivo de realizar testes mais práticos, para testar o funcionamento e a usabilidade da primeira versão do dispositivo, a etapa seguinte consistiu na realização de testes de locomoção em cenários controlados por duas pessoas sem deficiência visual vendadas.

Além de focar no funcionamento do sensor para a detecção dos obstáculos, foram observados aspectos como a vibração do sistema de alerta, o tempo de resposta dos sensores e o ajuste da distância de identificação de obstáculos.

Os cenários foram determinados visando à existência de obstáculos específicos, perigosos e comuns em trajetos de caminhada na rua de uma pessoa com deficiência visual. Foram criados dois cenários para testes, sendo eles:

- Cenário de testes A: Ambiente com sombra leve e objetos pendurados, como o vaso da Figura 22, uma lona, bloqueando o caminho e cordas de várias espessuras, simulando fiação solta de postes e varais de roupa.



Figura 22: Exemplo de vasos suspensos.

Fonte: dos autores.

- Cenário de testes B: Ambiente aberto com objetos na rua, composto pelos obstáculos da Figura 23, exemplificando uma árvore baixa com a copa bem ampla, da Figura 24, um orelhão, que possui uma extensão para a lateral na parte superior, impossível identificar pela bengala branca comum, e a Figura 25, exemplificando um cesto de lixo suspenso, comum em bairros residenciais.



Figura 23: Árvore do cenário de teste.

Fonte: Dos autores.



Figura 24: Orelhão do cenário de teste.

Fonte: Dos autores.



Figura 25: Cesto de lixo suspenso.

Fonte: Dos autores.

Nas primeiras tentativas de teste de detecção dos obstáculos, notou-se grande demora na resposta de ambos os sensores, comprometendo a usabilidade do dispositivo. Sendo assim, antes de prosseguir com os testes, foi realizada uma modificação no *firmware*, de modo usar somente um tipo de sensor de cada vez ao invés de simultaneamente. A comunicação serial, não utilizada neste momento, foi desativada, e ainda, foi realizado um ajuste no sensor óptico, reduzindo o tempo de amostragem do sensor para aumentar sua velocidade de resposta.

Entretanto, antes de retomar os testes práticos, notou-se também uma quantidade considerável de falsos positivos pelo sensor óptico, quando o circuito alimentado exclusivamente pelo módulo de *powerbank* com a bateria. Na etapa anterior de testes, o dispositivo havia sido alimentado apenas via USB da placa de desenvolvimento Arduino. A estabilidade foi resolvida com a alimentação feita via USB por um *powerbank* convencional, como na Figura 26:





Figura 26: Placa do protótipo com *powerbank* como alimentação para testes.

Fonte: Dos autores.

Apesar das modificações, o sensor ultrassônico não foi capaz de detectar obstáculos de forma segura, apresentando as mesmas falhas encontradas na etapa anterior de testes. Sendo assim, optou-se a partir de então pelo uso o *firmware* apenas do sensor óptico, o qual foi capaz de detectar os obstáculos de modo satisfatório.

No cenário A, o dispositivo apresentou um bom desempenho, identificando quase todos os obstáculos. Apenas o varal, de cerca de 1,70 m do solo, por se tratar de um objeto muito fino não foi identificado todas as vezes.

No cenário B, todos os obstáculos foram detectados, até mesmo os objetos de superfície irregular como o cesto de lixo. A apenas a árvore da Figura 24 gerou um pouco de ruído da detecção devido a atuação de diversas influências externas, como vento e o sol, fazendo com que a variação na detecção fosse maior.

O sensor foi capaz de identificar obstáculos com antecedência, sendo possível que os atuadores alertavam com uma vibração rápida e singela, possibilitando os desvios necessários, mas com uma pequena dificuldade de se distinguir a vibração.

Nestes testes, foi possível verificar que a dupla movimentação – ato de movimentar a bengala para os lados ao andar para frente, vide Figura 27 – contribuiu para ampliar a faixa de detecção do sensor.

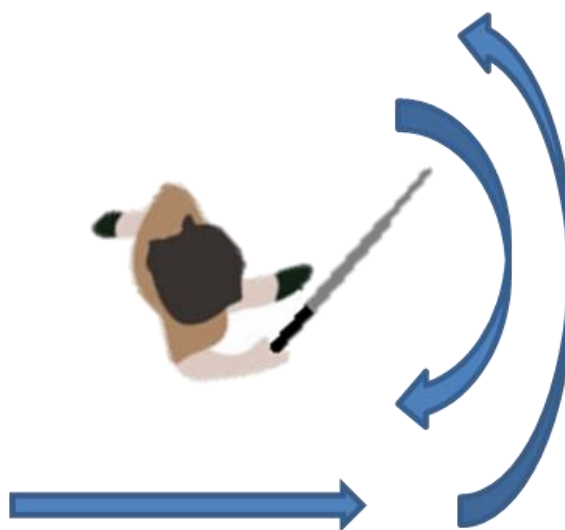


Figura 27: Dupla movimentação.

Fonte: Dos autores.

### Testes Práticos com Pessoas com Deficiência

A última etapa de testes com a primeira versão consistiu na realização de testes práticos com pessoas com deficiência visual do Centro de Apoio ao Deficiente Visual. Os testes foram realizados dentro do ambiente do CADEVI, sendo os cenários construídos pelos autores em conjunto um membro com deficiência visual, com experiência em testar novas tecnologias para locomoção.

Os cenários escolhidos foram constituídos com o objetivo que o usuário pudesse caminhar sem esbarrar e tivesse maior conforto em atividades diárias, com o auxílio do dispositivo.

O primeiro cenário foi no ambiente interno do CADEVI, já familiarizado pelos participantes. A trajetória passou pelos quartos do segundo andar, a escada, corredor com cômodos nas laterais e cozinha com armários.

O segundo cenário foi no ambiente externo, passando por um arbusto, muro baixo, portão de vidro, primeiramente aberto e então fechado.

O último cenário foi realizado em um pátio com degraus e pilares, primeiramente vazio, sem pessoas, e em seguida o pátio ocupado por outras pessoas, dentre algumas, outros deficientes visuais.

Quando entregue aos participantes (Figura 28), o equipamento foi bem recebido por integrar de forma simples a bengala, que já estão acostumados a usar, com o sistema eletrônico capaz de detectar obstáculos que não seriam percebidos somente com o uso da bengala.

Algumas características mencionadas como pontos positivos foram as possibilidades de recarregar o dispositivo com carregador de celular, que é facilmente encontrado, e a de poder realizar um ajuste de distância de disparo de alerta da bengala, para que o usuário que tenha segurança ou experiência possa ter uma maior distância de alerta para caminhar com maior velocidade.



Figura 28: Participante com deficiência visual durante os testes.

Fonte: Dos autores.



No primeiro cenário, o primeiro ponto positivo foi a possibilidade de avaliar com antecedência a existência de novos obstáculos em um ambiente já conhecido, como portas fechadas ou objetos fora do lugar usual.

No segundo cenário, o destaque foi a detecção bem-sucedida de obstáculos acima da linha da cintura, como árvores e tecidos, e também objetos descontínuos, como portões. Os únicos objetos não detectados foram os que estavam abaixo da linha da cintura, como armários, mesas e sofás, mas como a estrutura da bengala continuou a mesma, foi possível que os participantes conseguissem desviar de todos os obstáculos.

No percurso do cenário de testes do pátio do CADEVI, com o pátio vazio, os participantes foram capazes de desviar dos pilares com antecedência. Com o pátio lotado de pessoas, os usuários foram alertados que o ambiente estava ocupado, o que possibilitou a estes desviar sem esbarrar e também a alertar a sua chegada, evitando que outros deficientes visuais tropeçassem na bengala. Assim, o dispositivo conseguiu prover maior segurança para o usuário e as pessoas ao redor.

O equipamento foi validado pelos usuários por ter sido, de fato, capaz de detectar obstáculos acima da linha da cintura, evitando colisões que seriam difíceis para desviar somente com a bengala branca. Foi capaz de identificar obstáculos à frente da bengala com antecedência o suficiente para evitar alguns choques, alertando também sobre a presença de outras pessoas no caminho.

No entanto, algumas observações foram feitas a fim de que pudessem ser feitas melhorias para a versão final:

- Um dos três participantes dos testes sentiu dificuldade de diferenciar a vibração do motor da vibração na bengala causada pelo contato dela com o solo.
- Os três participantes relataram certa dificuldade na identificação da posição do sensor, que sempre deve estar para frente. Foi observado então o modo dos participantes de segurar a luva, conforme as Figuras 29 e 30 nas quais pode-se observar a posição da mão de um participante dos testes.

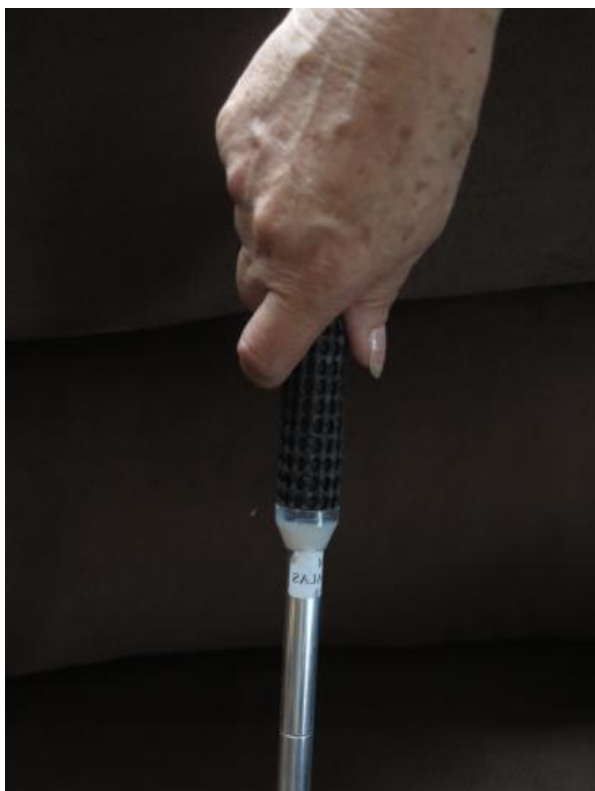


Figura 29: Primeira posição mais comum de segurar a luva.

Fonte: Dos autores.

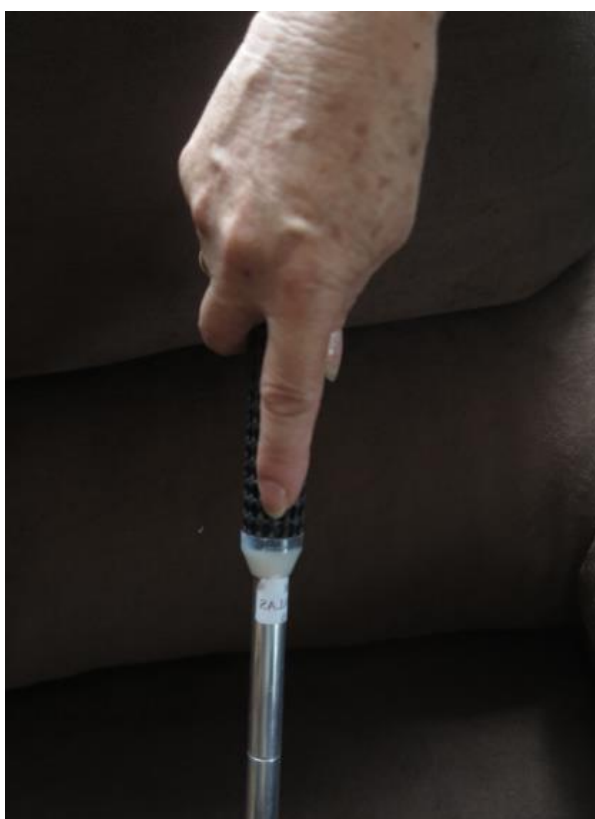


Figura 30: Segunda posição mais comum de segurar a luva.

Fonte: Dos autores.

Notou-se que, habitualmente, o polegar sempre permanece no mesmo lugar, mas o indicador muda de posição dependendo do usuário.

### **3.1.6. Análise dos Testes e Feedbacks**

Através dos resultados dos testes, foi possível definir características finais, além de incorporar novas necessidades baseadas no que foi feito e colocado à prova.

Considerando os testes de desempenho, nos quais o sensor ultrassônico HC-SR04 apresentou dificuldades na detecção de obstáculos com superfícies inclinadas e com tecidos, e nos demais testes os quais não puderam ser executados com este sensor, foi decidido prosseguir o desenvolvimento da versão final com o sensor óptico VL53L0X. A única desvantagem deste, a faixa de detecção mais estreita, na prática não se revelou um problema devido a técnica de dupla movimentação.

Outro fator decisivo para a escolha do sensor foi devido ao tamanho, uma vez que o sensor óptico é pequeno o suficiente para ser embutido dentro de um gomo da bengala, junto com o restante do sistema eletrônico. Caso o sensor ultrassônico fosse adotado, este precisaria ser instalado externamente, o que impactaria na segurança, já que o sensor ficaria exposto a choques e fragilizaria a estrutura da bengala devido aos cortes necessários para alojamento do sensor, além de impactar a discrição.

Em relação aos testes práticos, para o primeiro problema encontrado, a vibração sutil, foi identificada a possibilidade de corrigir através do aumento da intensidade de vibração do motor através da modulação do PWM. Durante os testes, foi utilizada uma taxa de ciclo de trabalho de 50%, determinada na etapa de desenvolvimento a fim de se manter um consumo de corrente reduzido.

A respeito da dificuldade em reconhecer a direção do sensor, definiu-se necessária a incorporação de um indicador de orientação da bengala. Considerando a posição habitual de segurar dos usuários, definiu-se a necessidade de um indicador de posição para o polegar.

## **3.2. Fase 2 – Implementação do Sistema**

Nesta fase, o desenvolvimento foi retomado para a realização de ajustes necessários e, principalmente, para a criação de uma versão definitiva, com foco como produto. Para isso, o sistema eletrônico e a bengala foram projetados de modo a viabilizar sua fabricação dentro deste projeto.

### 3.2.1. Desenvolvimento da Versão Final

Nesta etapa, o circuito eletrônico foi embarcado em uma placa de circuito impresso única, junto aos demais componentes – com exceção do sensor, da bateria e do motor. O controle do circuito, antes feito por uma placa de desenvolvimento Arduino Nano, foi então baseado na placa desenvolvimento Arduino Pro Mini, ambos baseados no microcontrolador ATMEGA328P.

As diferenças entre as placas Arduino são a simplificação do circuito, com a remoção do conversor Serial-USB, usado na gravação do *firmware* via USB e na comunicação serial. A gravação do microcontrolador passa a ser feita apenas por interface ICSP – um processo um pouco mais demorado e complexo, mas ideal para a otimização de um circuito que já passou pelo processo inicial de prototipação. Da mesma forma, a comunicação serial não deve ser utilizada com tanta frequência, e assim, se necessária, pode ser estabelecida com o uso de um conversor Serial-USB externo, através dos pinos disponibilizados em um conector na placa. O circuito de controle e o circuito de *drive* foram ligados como na Figura 31:

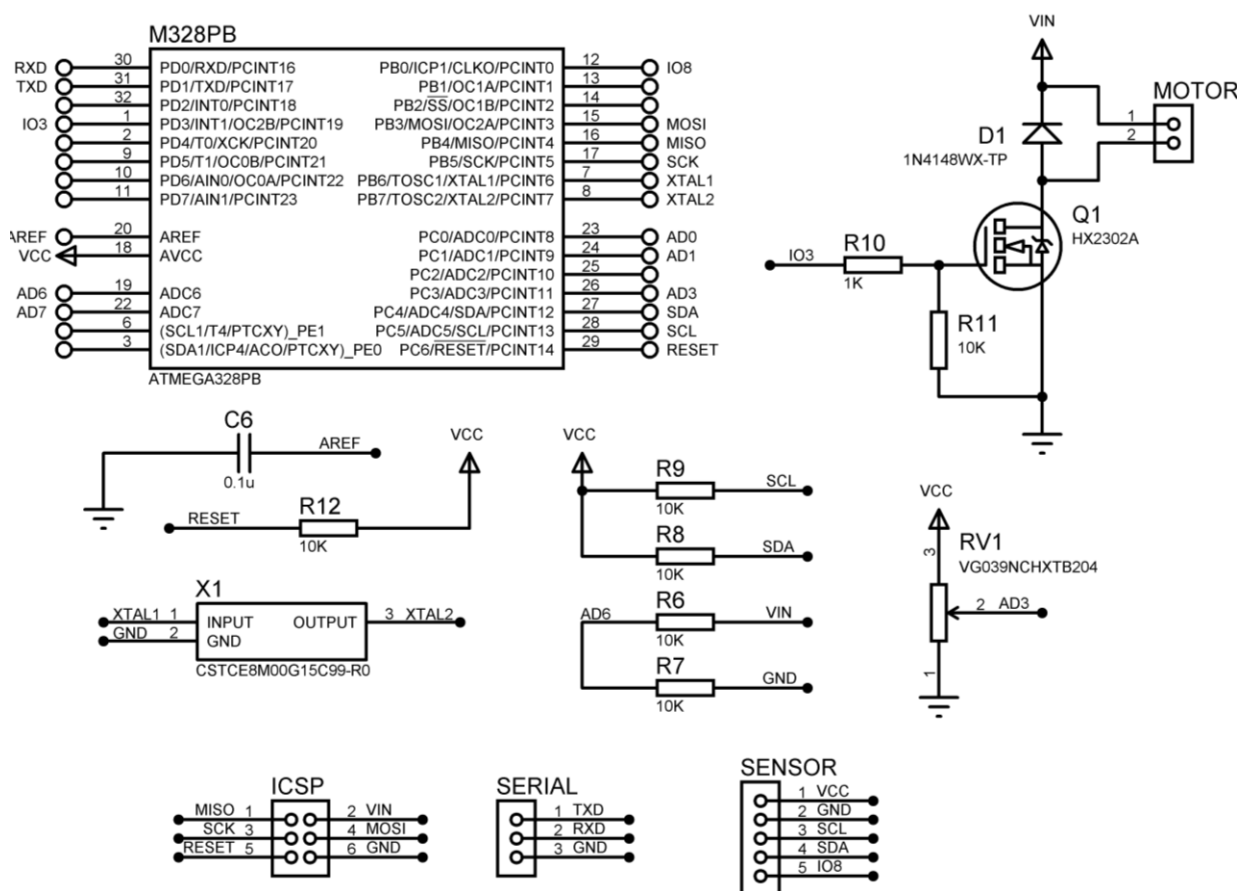


Figura 31: Diagrama do sistema de controle e de *drive*.

Fonte: Dos autores.

Devido a disponibilidade e custos mais atrativos, foi utilizada a versão mais recente do microcontrolador, a ATMEGA328PB. Como o *firmware* utilizado é baseado no anterior, não há diferenças de funcionalidade, e, portanto, a única mudança é o layout de alguns dos pinos.

O sistema de alimentação, que antes consistia em um módulo externo, foi incorporado ao circuito eletrônico. O nível lógico do circuito foi alterado de 5 V para 3,3 V, uma vez que, o anterior era utilizado devido a placa de desenvolvimento Arduino e requeria que o sistema de alimentação possuísse um circuito um conversor *boost* para elevar a tensão da bateria de lítio.

O nível lógico de 3,3 V apresenta melhor compatibilidade entre os componentes utilizados – incluindo a bateria, permitindo otimizar o layout e melhorar a eficiência energética. Se fazem necessários apenas um regulador linear para reduzir a tensão e um mecanismo de proteção da bateria.

A tensão de alimentação do circuito é ajustada pelo regulador linear MIC5205, escolhido devido ao seu custo-benefício e corrente máxima de saída de 150 mA (MICROCHIP, 2017), o suficiente para o consumo da placa, estimado em 20 mA, com transientes de 55 mA durante o ciclo de amostragem do sensor. Os capacitores do circuito de alimentação foram dimensionados de acordo com o *datasheet* do fabricante.

Para ligar e desligar o circuito, o sinal de entrada do regulador foi ligado a uma chave liga-desliga com trava com retorno por mola, permitindo que o dispositivo seja acionado com facilidade, não precisando de pressão constante pela mão do usuário, o que causaria cansaço a ele.

A bateria determinada para alimentação do circuito foi uma célula de íons de lítio do tipo 14500, devido ao encapsulamento cilíndrico, ideal na montagem da célula dentro do gomo da bengala.

A escolha da fonte de carga depende, sobretudo, do tipo de tensão necessária pelo sistema e da capacidade de armazenamento de carga, em conformidade com o consumo de corrente e com as dimensões disponíveis em equilíbrio com a autonomia. O modelo escolhido foi da fabricante Sofirn e possui 900 mAh de capacidade e tem as mesmas dimensões de uma pilha AA, com 50 mm de comprimento e 14 mm de diâmetro.

Com o consumo médio estimado em 20 mA, a capacidade de 900 mAh seria capaz de alimentar o circuito até 45 horas, desconsiderando a atuação do motor. Como dentre os motores testados, o motor CC e o atuador linear não houve diferenças percebidas nos testes, devido ao consumo de 230 mA e 70 mA, respectivamente, optou-se por seguir o projeto com apenas o atuador.

No pior cenário possível, o qual o alerta seria disparado ininterruptamente, o consumo médio do atuador seria de 35 mA, considerando o padrão de vibração de 50% ligado e 50% desligado. Este cenário, portanto, consumiria de cerca de 55 mA, totalizando em uma autonomia mínima de cerca de 16 horas e meia, o que atende com folga a meta de 3 horas estabelecidas.

Este padrão de vibração, além de reduzir o consumo de corrente, foi implementado com o objetivo de facilitar a identificação da vibração do motor, devido a eventual dificuldade detectada nos testes.

Para a recarga da bateria, foi adotada a interface USB, devido à alta compatibilidade e facilidade de encontro de carregadores USB, padrão no carregamento celulares. O conector escolhido para este tipo de interface foi o USB Tipo C. Apesar deste tipo de conector não ser tão popular atualmente, como o Micro USB, ele é um novo padrão em processo de adoção. E ainda com a vantagem de ser um conector reversível, que facilita o seu uso, principalmente por pessoas com deficiência visual.

O modelo cabo utilizado para conectar o circuito a um carregador foi um cabo USB Tipo C com conector magnético (Figura 32). Este consiste em um conector, para ser acoplado no USB do circuito, e um cabo. Ambos possuem ímãs para rápida ligação entre as extremidades, facilitando a ligação do circuito ao carregador.



Figura 32: Cabo USB magnético utilizado para carregamento.

Fonte: Dos autores.

A bateria para ser carregada completamente deve ter sua tensão elevada ao nível máximo, 4,2 V. Como a interface USB tem como padrão 5 V, se faz necessário controlar o nível entrada para não danificar a bateria. Para tal controle, foi adotado o circuito integrado TP4056, que consiste em um carregador linear programável de método de corrente constante e tensão (TP ASIC, 2008).

A corrente máxima de carregamento é determinada pelo valor de um resistor colocado entre o pino PROG e o GND. O valor de 2,2 k $\Omega$ , segundo o fabricante, estabelece uma corrente máxima de aproximadamente 0,5 A, ideal para um carregamento rápido, mas sem comprometer a vida útil da bateria.

Os pinos CHRG e STBY tem como finalidade indicar os estados de carregamento da bateria e carregamento finalizado, respectivamente. Eles são do tipo *open drain*, possibilitando que o projetista coloque LEDs para que o usuário possa visualizar em que estado se encontra a bateria. Como sinalizadores luminosos não atendem à necessidade de portadores de deficiência visual, os pinos foram ligados ao microcontrolador para que este possa ler os estados e sinalizá-los através de padrões vibratórios.

Como complemento à proteção da bateria, o circuito integrado DW01 foi incluído com o propósito de proteger a célula de carga contra descarga e carregamento excessivos e contra sobrecorrente (FORTUNE, 2014). O controle é feito automaticamente através do chaveamento da ligação da bateria com o circuito, através do FS8205, um duplo MOSFET de canal N. No entanto, para que a bateria não seja desligada subitamente, de forma a deixar o dispositivo completamente inoperante, o sinal da bateria foi colocado em um divisor de tensão, ligado a uma porta analógica do microcontrolador.

Caso o nível da bateria caia excessivamente, uma função no *firmware* gera avisos através do motor de vibração com o objetivo de notificar o usuário da necessidade de recarregar a bateria. O nível de carga também é indicado ao se inicializar o dispositivo.

O circuito de carregamento foi ligado de acordo com o diagrama da Figura 33:

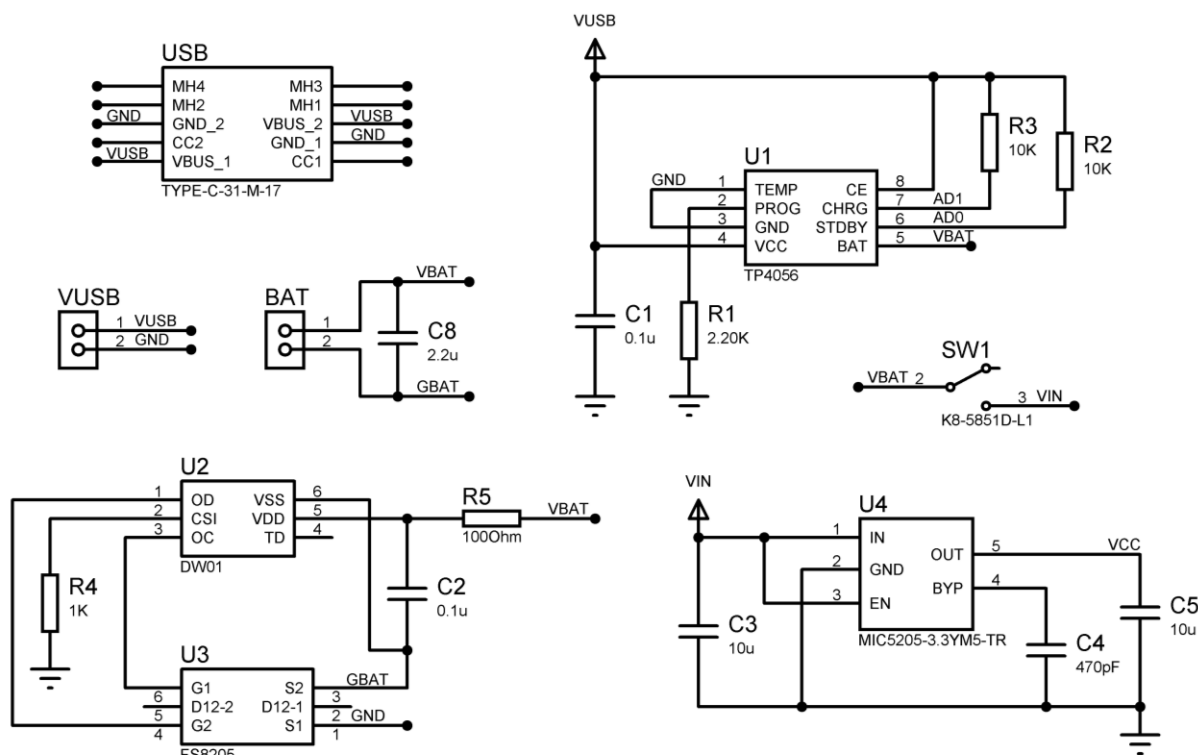


Figura 33: Diagrama do sistema de alimentação do circuito.

Fonte: Dos autores.

A fim de otimizar o tamanho, a placa de circuito impresso foi projetada com duas camadas, com componentes em ambos os lados e preferencialmente SMD.

Dos componentes utilizados, foram escolhidos os menores encapsulamentos, para reduzir a área utilizada, mas sem dificultar demasiadamente a montagem e soldagem manual. O tamanho determinado para os resistores e capacitores foi o 0805 (2 x 1,25 mm). Os encapsulamentos adotados para os componentes foram: TQFN (microcontrolador ATMEGA328PB), ESOP-8 (CI TP4056), SOD123 (diodo 1N4148), SOT23-3 (MOSFET HX230A), SOT23-5 (regulador MIC5205) e SOT23-6 (CI DW01 e MOSFET FS8205). Os demais componentes possuem encapsulamentos únicos.

As trilhas da placa foram projetadas para suportar com folga a corrente do circuito, possuindo 0,381 mm de largura para trilhas de energia, e 0,254 mm para trilhas de sinais. São suportados respectivamente até 1,2 A e 0,9 A, considerando temperatura ambiente de 25 ° C e aumento máximo de 10 ° C (IPC, 2012). Para o sinal GND, foram criados planos nos dois lados da placa.

Conforme o desenvolvimento da bengala e do circuito eletrônico, as dimensões da placa foram estimadas em 6 x 1,5 cm para permitir uma montagem fácil e o uso de um gomo com diâmetro pequeno. Ao final do design do layout, as dimensões ficaram em 58 mm de



comprimento, 15 mm de largura. A espessura de 1,2 mm foi escolhida para facilitar a montagem, mas mantendo uma boa resistência mecânica. Nota-se que uma versão de produção poderia ter dimensões reduzidas, caso fossem adotados encapsulamentos menores dos componentes usados, para serem montados por máquinas *pick and place*.

Para melhor visualização, a placa finalizada foi projetada sem componentes nas Figuras 34 e 35, e com os componentes nas Figuras 36 e 37:

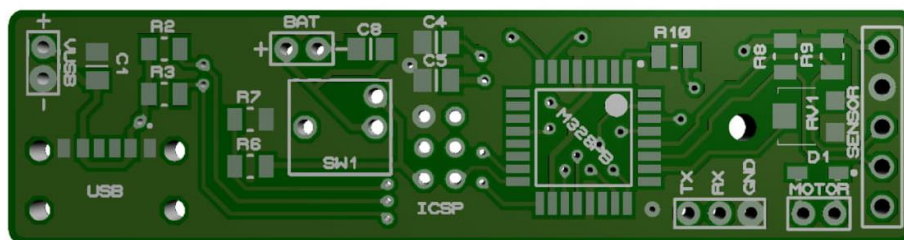


Figura 34: Vista frontal da projeção 3D da PCI.

Fonte: Dos autores

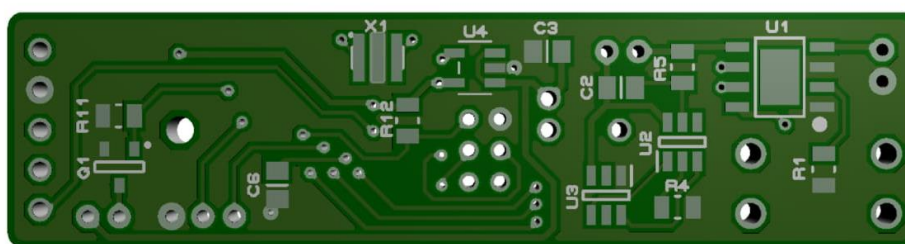


Figura 35: Vista traseira da projeção 3D da PCI.

Fonte: Dos autores.

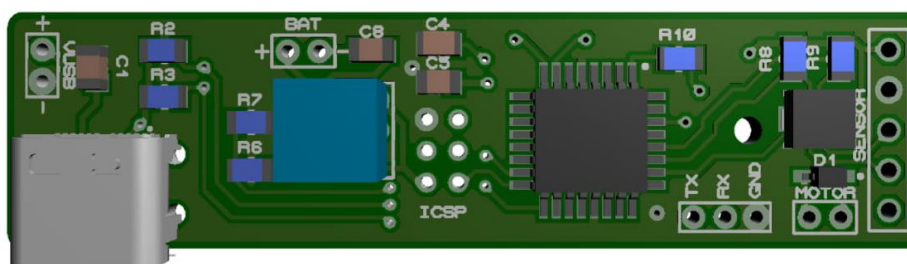


Figura 36: Vista frontal da projeção 3D da PCI com componentes.

Fonte: Dos autores.

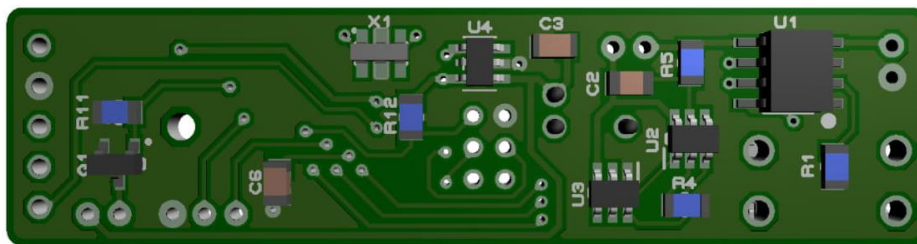


Figura 37: Vista traseira da projeção 3D da PCI com componentes.

Fonte: Dos autores.

Após o layout da placa ser enviado para produção, dez placas foram entregues após 3 semanas, prontas para a montagem dos componentes, conforme as Figuras 38 e 39:

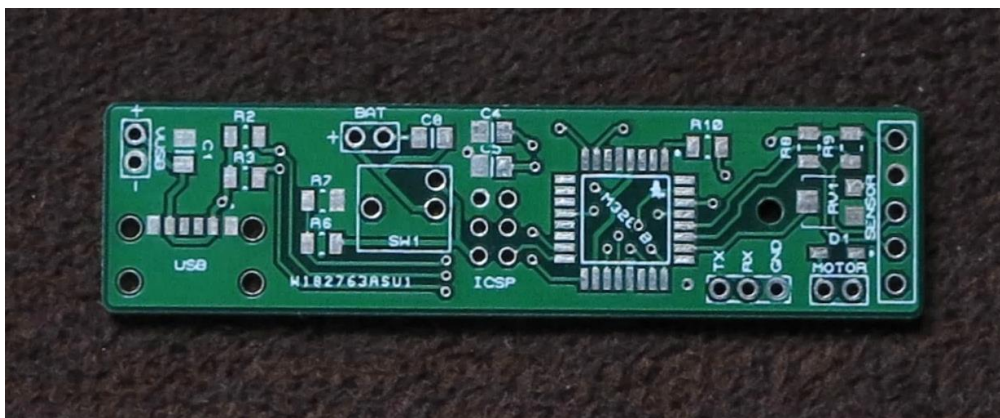


Figura 38: Foto frontal da PCI.

Fonte: Dos autores.

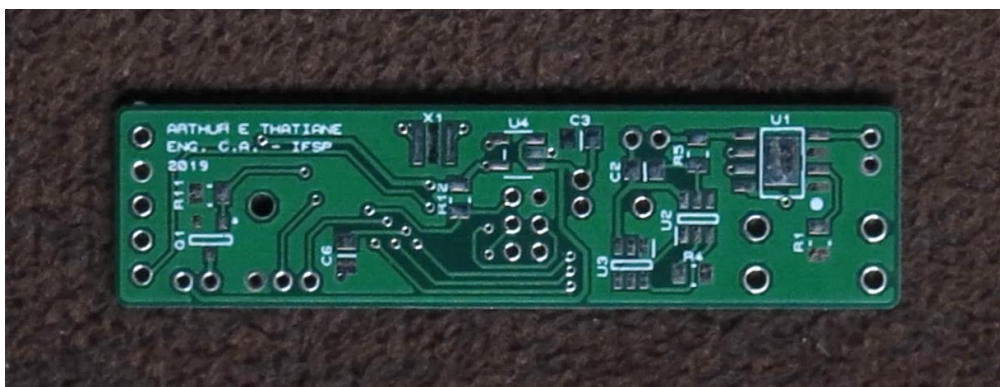


Figura 39: Foto traseira da PCI.

Fonte: Dos autores.

Todos os componentes, com exceção aos sensores previamente adquiridos, foram recebidos junto com as placas, e foram soldados à mão. O resultado da montagem pode ser visto nas Figuras 40 a 42:



Figura 40: Foto frontal da PCI montada.

Fonte: Dos autores.

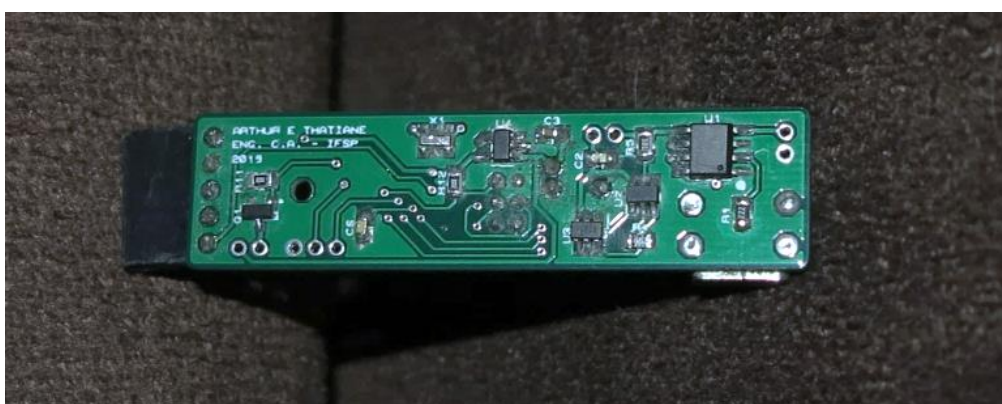


Figura 41: Foto traseira da PCI montada.

Fonte: Dos autores.

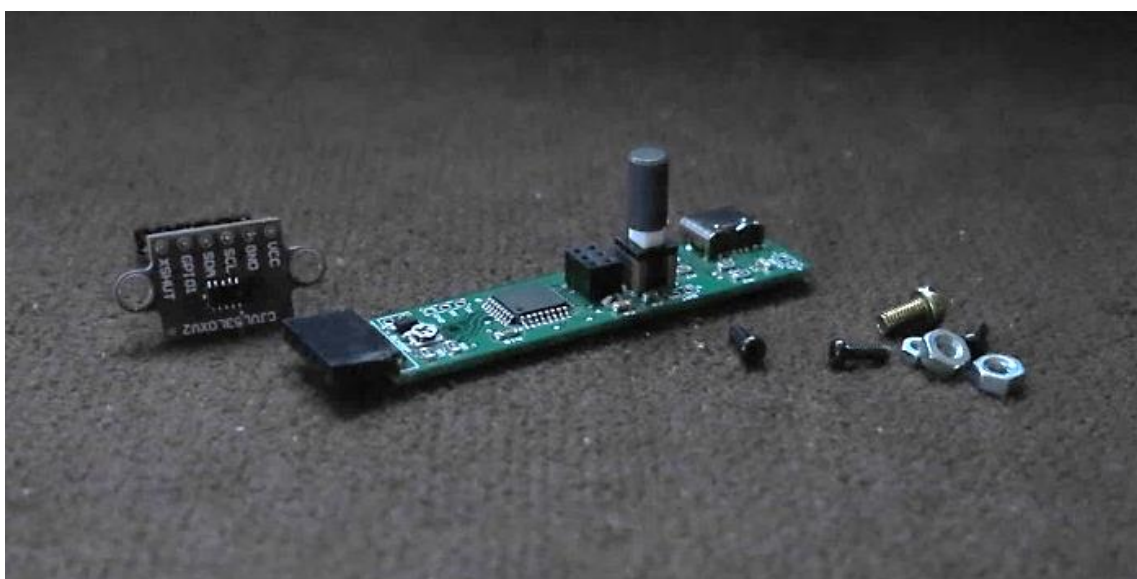


Figura 42: Foto da PCI montada com o sensor e parafusos de fixação.

Fonte: Dos autores.



Para ligação dos componentes externos, isto é, a bateria, o motor e o sensor, foram soldados cabos e conectores, para então, a montagem do sistema eletrônico ser finalizada, registrada na Figura 43:

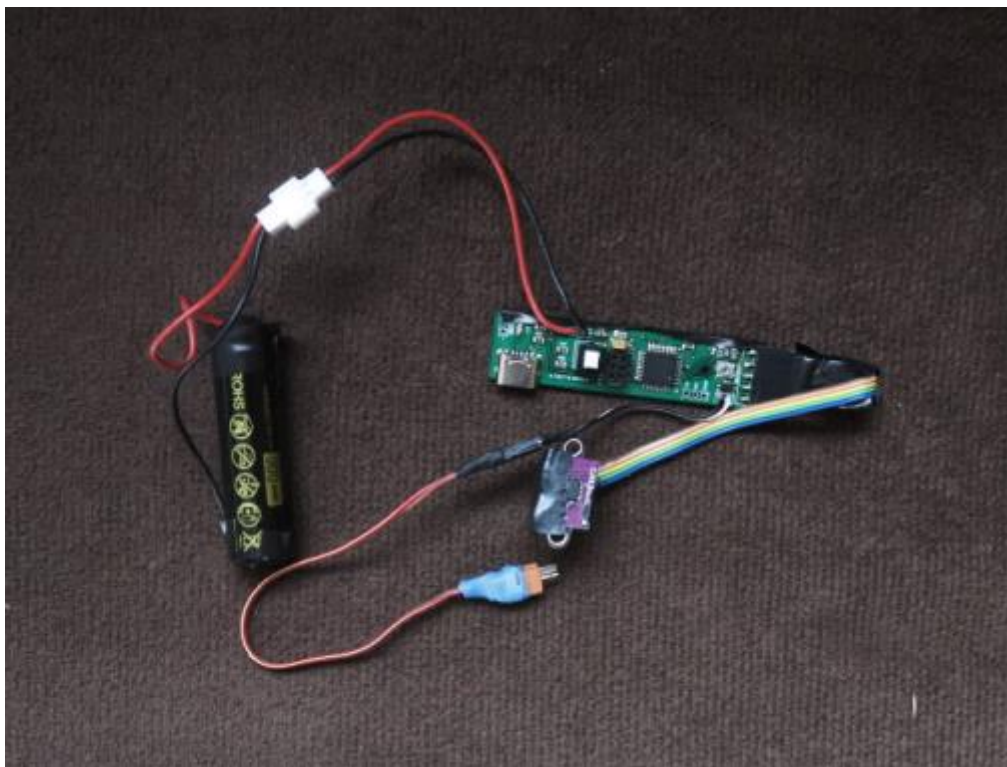


Figura 43: Sistema eletrônico finalizado.

Fonte: Dos autores.

O desenvolvimento da bengala foi iniciado com o estabelecimento, em conjunto com o fabricante, de um diâmetro do gomo para a eletrônica de 25 mm. As demais medidas, foram definidas ao final do desenvolvimento da placa de circuito impresso, cujas dimensões estão na Figura 44:

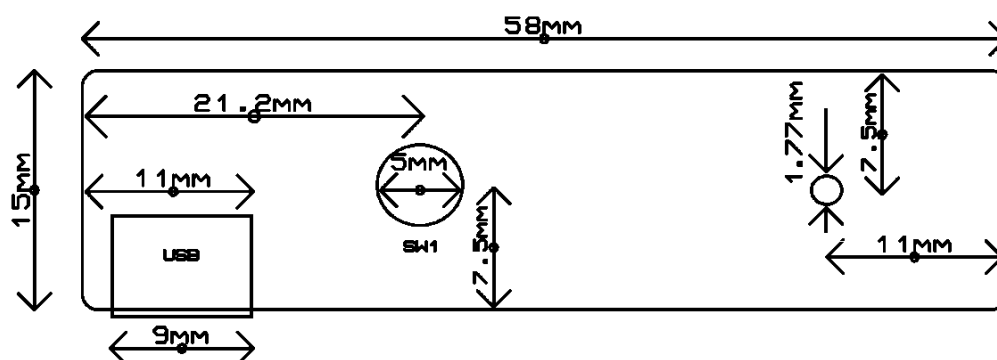


Figura 44: Dimensões da placa para fixação na bengala.

Fonte: Dos autores.

Para o alojamento e fixação no gomo da bengala, foram necessários os furos da porta USB, da chave liga-desliga e do furo de fixação, onde foi utilizado um parafuso M2 para travar a posição da placa. E para o sensor, foram necessários furos para fixação por parafuso e uma abertura para a lente.

Com as dimensões necessárias, foram criadas as vistas da Figura 45 para a criação do molde e para a fabricação da bengala:

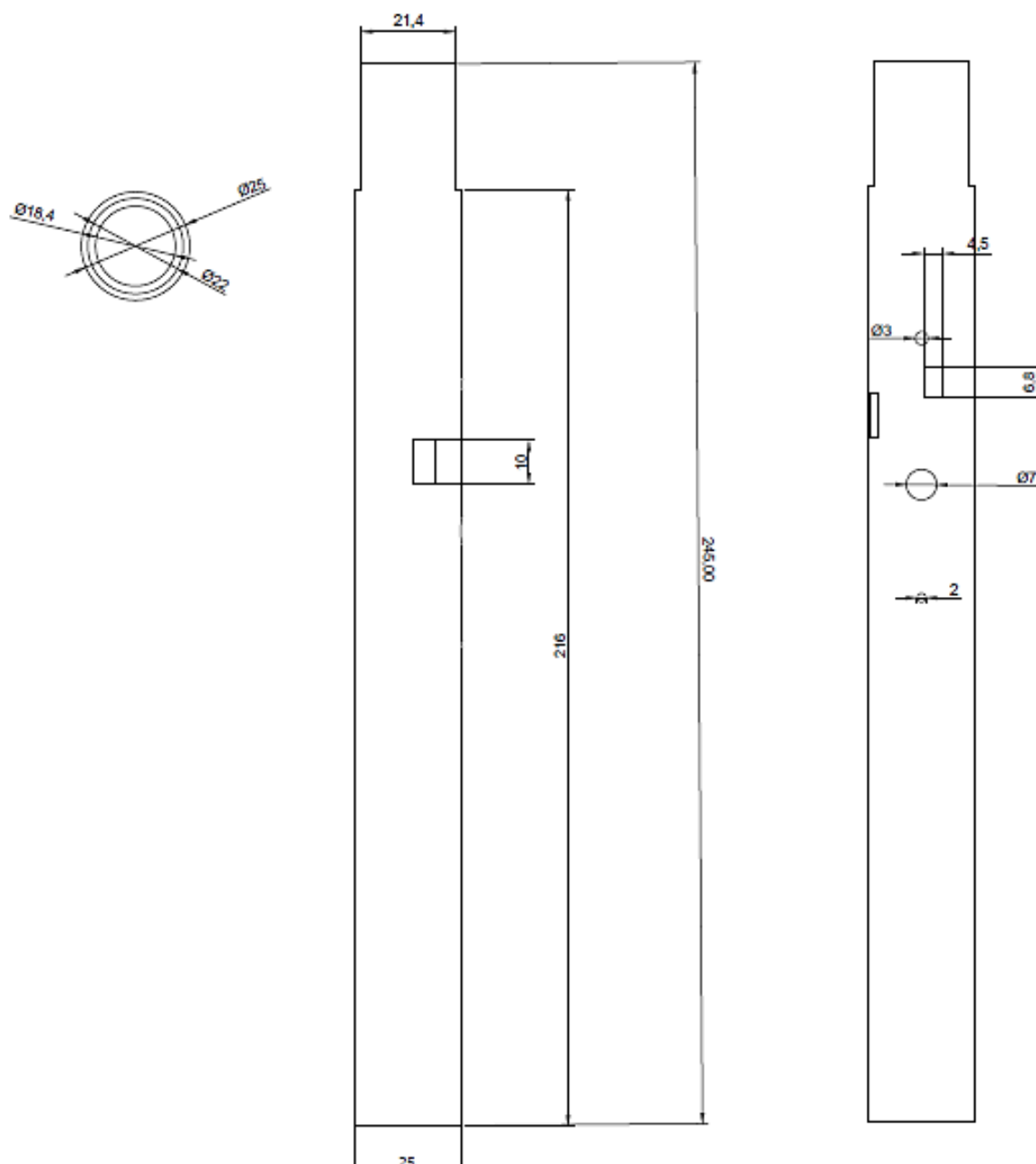


Figura 45: Vistas 2D para o cano PVC.

Fonte: Dos autores.

Para facilitar o design no metal, foi criado para levar ao fabricante um protótipo em PVC. Foram utilizadas uma serra de mão para cortar e abrir o quadrado na lateral, uma furadeira para abrir os furos de parafusos e do botão, e limas agulhas para pequenos ajustes e acabamento. Após a conclusão do protótipo em PVC, foram encaminhados ao fabricante o modelo em PVC da Figura 46, junto aos esboços das vistas:



Figura 46: Molde em cano PVC com sistema eletrônico montado.

Fonte: Dos autores.

Quando entregue para o fabricante, TM Bengalas, foi analisado que o tamanho final da eletrônica era compatível com o diâmetro padrão usado nas bengalas, podendo-se assim reduzir as dimensões estipuladas, com diâmetro interno de 16 mm, vide a Figura 47:

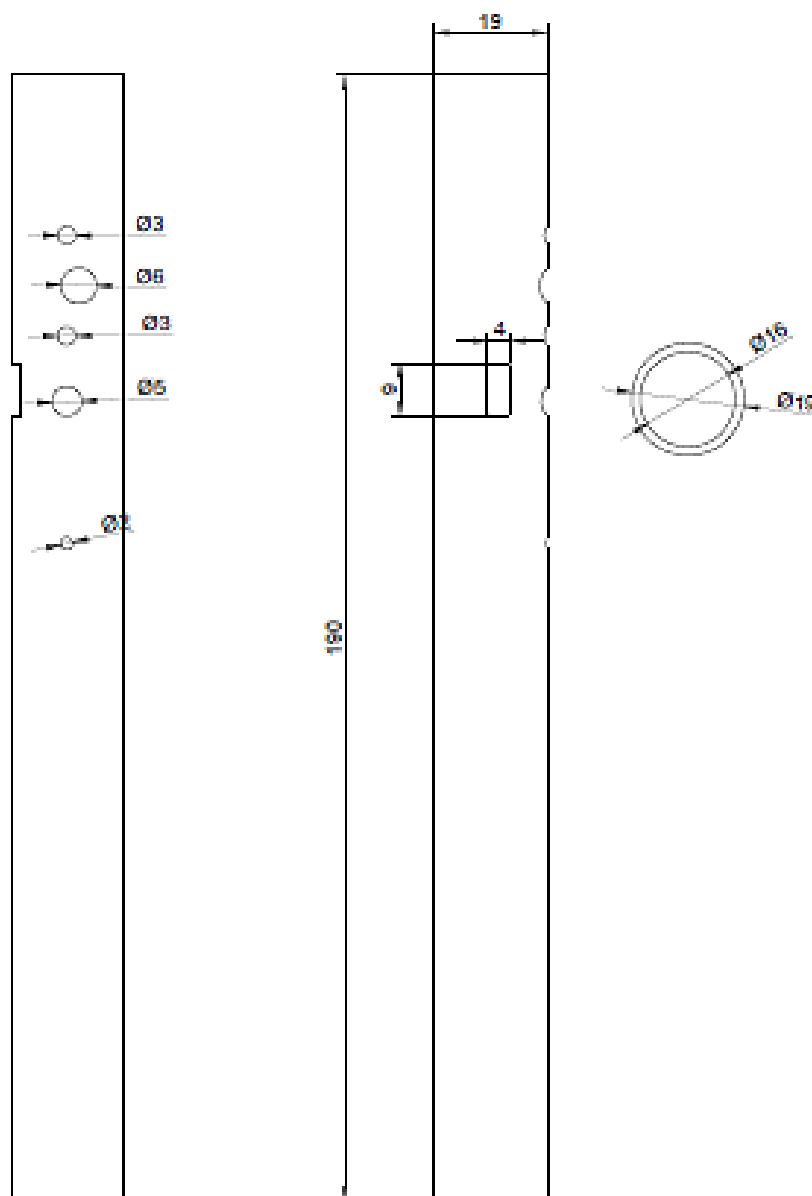


Figura 47: Vistas 2D do para o modelo em alumínio.

Fonte: Dos autores.

O primeiro passo para a fabricação foi a compra de uma barra de alumínio, que então foi ajustada no torno (Figura 48) para o tamanho padrão das bengalas, e cortada para personalização do tamanho. Todos os gomos foram fabricados normalmente, apenas a luva sofreu modificações. Foram feitos os furos dos parafusos, e com a mesma broca de 3 mm, foram feitos 4 furos para a abertura lateral de 9 mm, sendo então serrada e lixada. Segundo o fabricante, em objetos cilíndricos, é mais fácil furar com a broca do que serrar sem algum furo auxiliar.



Figura 48: Processo de fabricação da bengala por torneamento.

Fonte: Dos autores.

A luva passou no torno em um segundo momento para fazer o recartilhado, espirais para sinalizar a extremidade da bengala.

A fabricação do modelo foi realizada em quatro dias após a entrega do protótipo em PVC. A luva ficou com aproximadamente 19 cm de comprimento, ainda com ajustes pendentes para a fixação do elástico. As Figuras 49 e 50 mostram o modelo em alumínio entregue pelo fabricante:



Figura 49: Foto frontal do modelo em alumínio.

Fonte: Dos autores.





Figura 50: Foto lateral do modelo em alumínio.

Fonte: Dos autores.

Com a bengala e o sistema eletrônico prontos, foi realizada a montagem dos dois, como na Figura 51, para checagem das dimensões, as quais se mostram compatíveis, não ocasionando em nenhuma dificuldade de montagem:

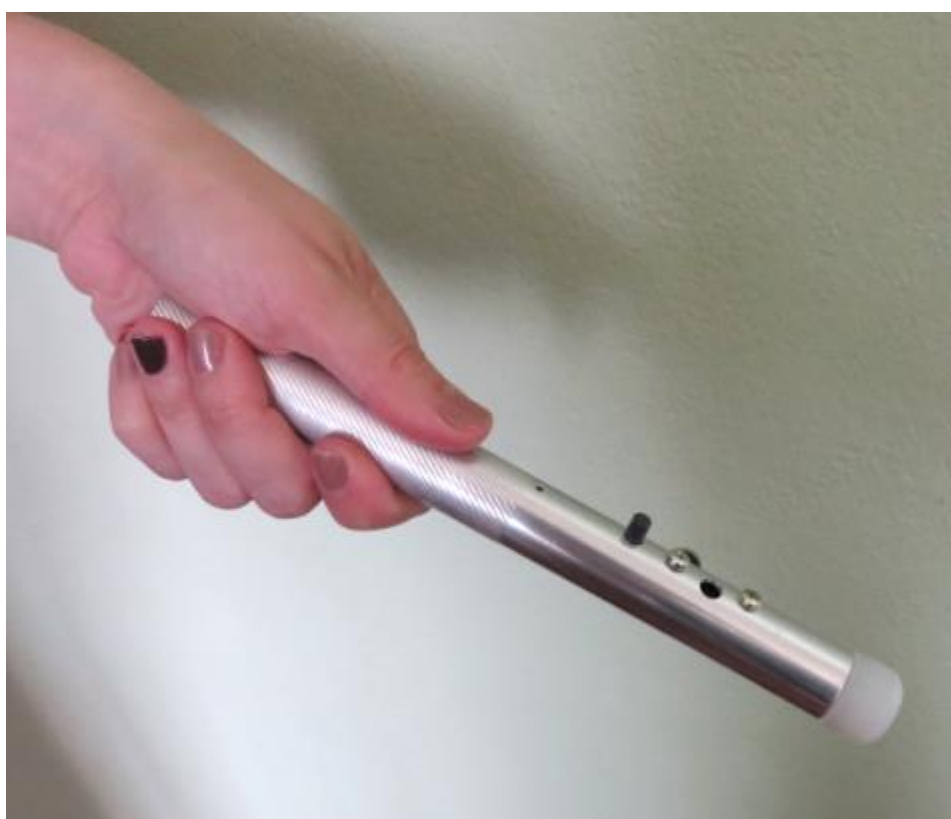


Figura 51: Luva da bengala com circuito eletrônico montado.

Fonte: Dos autores.

Aderindo aos feedbacks dados no teste da bengala, foi incluído um indicador de orientação na lateral da luva para o polegar, para que o usuário possa sempre manter o sensor apontado para frente, como na Figura 52. O protótipo então, foi finalizado para o início da etapa de testes.



Figura 52: Indicador de orientação da bengala.

Fonte: Dos autores.



Figura 53: Versão final montada e estendida.

Fonte: Dos autores.

### 3.3. Fase 3 – Testes do Sistema

Com o desenvolvimento finalizado, esta fase tem como objetivo a realização dos testes finais e do recebimento de *feedbacks* para a validação definitiva da tecnologia assistiva, além da análise dos resultados e levantamento de possíveis falhas e melhorias necessárias para trabalhos futuros.

### 3.3.1. Testes e Recebimento de Feedback Finais

Com as características básicas de desempenho já avaliadas nos testes iniciais, os testes finais tiveram como foco a usabilidade da tecnologia como um produto em si. Além do funcionamento do dispositivo, foram avaliadas as características desejadas estabelecidas ao início do projeto: ergonomia, portabilidade e discrição.

O primeiro teste realizado consistiu na medição do consumo de energia do circuito, a partir do monitoramento da bateria de 900 mAh completamente carregada, com tensão de 4,2 V. Foram monitorados os estados do circuito desligado, em *standby*, ativo, e ativo com o alerta sendo disparado:

Tabela 4: Medições de consumo do circuito.

Estado	Consumo
Desligado	8,3 uA
Em <i>standby</i>	5,46 mA
Ativo	22 mA
Ativo com alerta (Atuador linear)	92 mA (Pico)

A partir da corrente aferida pelo circuito, foi calculada a estimativa da autonomia, considerando a capacidade da bateria utilizada. Foram desconsiderados o estado desligado, devido ao consumo insignificante, que se dá pelo circuito de monitoramento da bateria, e o estado em *standby*, que ocorre apenas durante a inicialização do circuito, enquanto o sensor ainda não é ativado pelo microcontrolador.

Tabela 5: Autonomia estimada do circuito.

Estado	Autonomia Estimada
Ativo	41 horas
Ativo com alerta (Atuador linear)	16 horas (Mínimo)

A autonomia para o circuito ativo com alerta foi considerada como o pior cenário possível, com o alerta disparado constantemente, algo que não ocorre durante o uso. Portanto, dependendo da forma de uso, a autonomia deve-se encontrar entre 16 a 41 horas. Uma estimativa mais precisa necessitaria de uma série de testes de uso real, com monitoramento do uso do equipamento por diversos usuários, e por esta complexidade, não foi realizada.

Durante a preparação para os testes práticos, notou-se uma piora na detecção do sensor, com o aumento de falsos positivos quando o sistema eletrônico foi montado no interior do gomo da bengala. O problema foi sanado através do aumento da abertura do furo para o sensor, saindo de aproximadamente 30 mm<sup>2</sup> para 130 mm<sup>2</sup> de área, maximizando a incidência de raios de luz sobre sensor, sendo feito um novo esboço, Figura 54, e então sendo feito o ajuste, Figura 55.

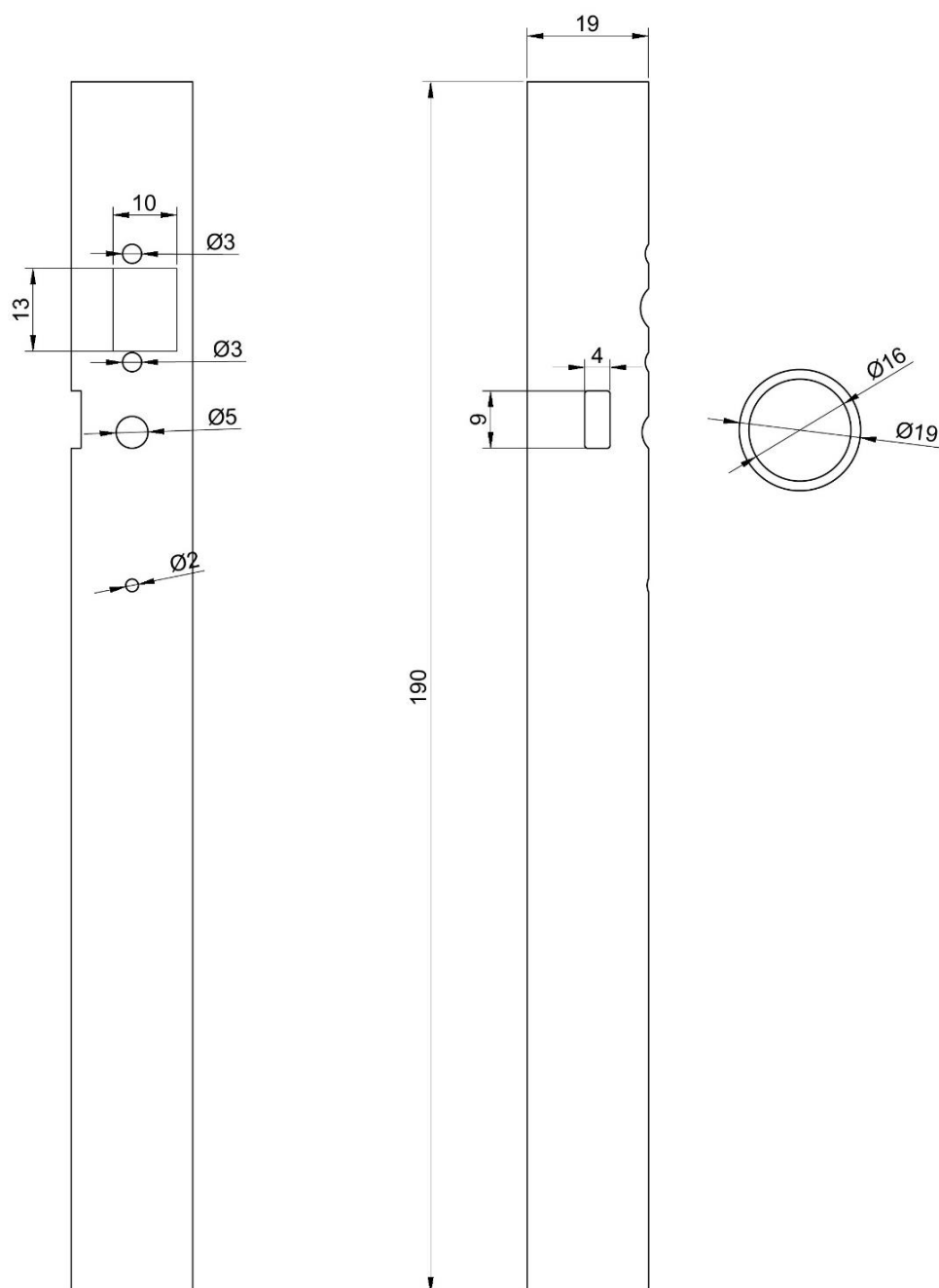


Figura 54: Vista 2D do modelo em alumínio com abertura maior.

Fonte: Dos autores.



Figura 55: Versão final dobrada com ajuste da abertura.

Fonte: Dos autores.

Feita a correção, o dispositivo foi levado novamente para o Centro de Apoio ao Deficiente Visual, mas desta vez na versão final. Participaram dos testes o experiente membro com deficiência visual, Lottar, e uma especialista em mobilidade urbana de pessoas com deficiência visual.

A primeira etapa dos testes consistiu em uma breve reavaliação geral da capacidade de detecção de obstáculos. Ambos participantes utilizaram a bengala no ambiente do CADEVI, andando em direção de obstáculos distintos. Foram testados obstáculos baixos, suspensos e por último uma simulação de situações de desvio.

Para a detecção de obstáculos baixos – cadeira, porta e mesa, desníveis de solo e degraus – o dispositivo comportou-se como uma bengala branca, não sendo capaz de detectar

eletronicamente nenhum objeto. Mas através da bengala, foi possível aos usuários desviar de todos os obstáculos testados.

Os obstáculos acima da linha da cintura – mesa, tábua de madeira, árvore e cabideiro – foram detectados pelo sensor com pelo menos 30 cm de distância, dando tempo o suficiente para o desvio antes de se chocar com o obstáculo.

Para a simulação de situações de desvio, a especialista colocou mesas na frente do usuário enquanto caminhava, avaliando a velocidade do alerta e o campo de detecção do sensor. Neste teste, o usuário conseguiu fazer a curva em todos os objetos com antecedência, sem chocar nenhuma parte do corpo.

A etapa final consistiu na avaliação geral do dispositivo. Ergonomicamente, as impressões foram positivas quanto ao material e diâmetro, semelhantes as bengalas comumente utilizadas. Já o peso, não comprometeu o modo de uso da bengala, nem gerou desconfortos. Além disso, o indicador de posição – melhoria feita com base nos *feedbacks* dos testes anteriores – possibilitou a melhor percepção da orientação do sensor. O botão de ligar também serviu para orientação, e junto com o indicador, possibilitaram a mudança da posição da mão, deixando o manuseio mais confortável.

A portabilidade do dispositivo também foi elogiada, pelo funcionamento à bateria e facilidade de recarga, pelo uso do cabo magnético, e pela possibilidade de utilização de carregadores de celular.

A inexistência de fios, acessórios para funcionamento complementares ou componentes vestíveis foi citada como ponto forte, sendo o dispositivo tão discreto quanto bengalas comuns as quais os usuários já estão habituados, não gerando nenhum tipo de desconforto ou insegurança.

No geral, o dispositivo foi muito bem recebido por ser funcional para a detecção de obstáculos acima da linha da cintura e por atender as exigências dos usuários. No entanto, os participantes sugeriram a possibilidade da detecção de obstáculos mais baixos, que apesar de terem sido identificados pela bengala, talvez pudesse ser identificados com maior antecedência pelo usuário, dando-lhe ainda mais segurança.

Uma crítica feita ao equipamento foi que, apesar da robustez contra choques mecânicos, ele não possui resistência a água, sendo vulnerável ao derramamento de líquidos e principalmente, sendo incapaz de ser usada sob condições de chuva.

Na Figura 56, foi registrado o equipamento durante a execução dos testes:



Figura 56: Versão final em teste.

Fonte: Dos autores.

### **3.3.2. Análise dos Testes e Feedback Finais**

Os testes finais foram condizentes com os iniciais, uma vez que o dispositivo desenvolvido foi capaz de auxiliar a locomoção de pessoas com deficiência visual.

A transformação do protótipo mais rudimentar para outro definitivo não gerou impactos na usabilidade, mas pelo contrário, foi capaz de atender às características desejadas pelos usuários. A leveza, facilidade de recarga e semelhança com a bengala branca foram identificados com os pontos de maior agrado aos usuários.

As melhorias realizadas – modificações na indicação de orientação e intensidade de alerta – foram bem-sucedidas, permitindo aos usuários um melhor uso do equipamento.



Os testes de autonomia, ainda que não realizados na prática, demonstraram através do estabelecimento de um pior cenário de uso, que a durabilidade da bateria atende com folga o uso diário de uma bengala, precisando ser carregada após vários dias de uso.

Em relação aos feedbacks dados nesta fase, a possibilidade de implementação de mais um sensor para detecção de obstáculos abaixo da linha da cintura foi estudada inicialmente, mas descartada devido ao uso da bengala customizada, o que pensou-se ser uma redundância. O uso do sensor para identificação de obstáculos com maior antecedência acarretaria em maiores custos, mas poderia, com um sensor de longo alcance, prover ainda mais segurança na locomoção.

Já a impermeabilidade, item apontado como muito importante para o uso durante os dias de chuva, não foi abordado devido à complexidade para este projeto. Mas como um produto para uso diário, a resistência contra água seria necessária, precisando ser estudada e testada.

#### 4. CONCLUSÃO

Sendo o principal objetivo deste trabalho o desenvolvimento de uma tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual, o contato inicial para a compreensão das particularidades da locomoção e das necessidades destas pessoas foram essenciais no decorrer do projeto. Decisões tomadas inicialmente, por quesitos técnicos, pelo ponto de vista da engenharia, puderam de ser revistas para melhor servir ao objetivo.

O estabelecimento de uma metodologia não linear permitiu, através de testes preliminares, a validação parcial, e ainda, com a abertura feita para o sugestões e críticas, permitiu que ajustes e melhorias pudessem ser realizadas, os quais de fato contribuíram para o aperfeiçoamento da tecnologia.

O protótipo atendeu a todos as premissas requisitadas pelas pessoas com deficiência visual participantes. O funcionamento, complementar a bengala branca, teve bom desempenho e propiciou uma rápida familiarização, sem prejudicar a forma de uso já aplicada pelos usuários. A leveza e a facilidade de recarga com longa autonomia, itens de maior preocupação, agradaram, sendo alcançados graças ao desenvolvimento do sistema eletrônico em circuito impresso.

Sendo assim, a tecnologia assistiva foi validada, cumprindo com seus objetivos estabelecidos.

Para trabalhos futuros, aponta-se como prioridade a abordagem dos *feedbacks* recolhidos ao final deste trabalho, que não foram abordados: o desenvolvimento da impermeabilização da eletrônica e um estudo para a implementação de mais sensores para aprimoramento da noção espacial dos usuários. Outras questões que podem ser trabalhadas são o estudo de equipamentos que abordem mudanças mais radicais no modo de utilização e otimizações no sistema eletrônico de modo a facilitar ainda mais sua fabricação e redução de custos.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. IBGE. (Org.). **Censo Demográfico 2010: Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/Caracteristicas\\_Gerais\\_Religiao\\_De\\_ficiencia/xls/Brasil\\_xls.zip](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Caracteristicas_Gerais_Religiao_De_ficiencia/xls/Brasil_xls.zip)>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BUENO, Alessandro C.. **Bengala Eletrônica para Deficientes Visuais**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia da Computação, Universidade Positivo, Curitiba.

CIVIAM. **Sunu Band**. Disponível em: <<http://www.civiam.com.br/sunu/>>. Acesso em: 09 de Nov. 2019.

CYTRON TECHNOLOGIES. **Product User's Manual – HCSR04 Ultrasonic Sensor**. 2013.

DIY PROJECTS. **HC-SR04 (ultrasound) vs Sharp GP2Y0A02YK0F (IR) vs VL53L0X (Laser), which solution to choose for distance measurement with Arduino or Raspberry Pi**. 2018. Disponível em: <<https://diyprojects.io/hc-sr04-ultrasound-vs-sharp-gp2y0a02yk0f-ir-vl53l0x-laser-solutions-choose-distance-measurement-arduino-raspberrypi/#.Xci-AyTPxPY>>. Acesso em: 08 nov. 2019.

FORTUNE. **DW01 - One Cell Lithium-ion/Polymer Battery Protection IC**. Disponível em: <[https://cdn.sparkfun.com/assets/learn\\_tutorials/2/5/1/DW01-P\\_DataSheet\\_V10.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/2/5/1/DW01-P_DataSheet_V10.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2019.

GIL, Marta (Org). **Deficiência visual**. Brasília: MEC. Secretaria de Educação a Distância, 2000. 80 p.

GONZATTO, Alfredo et al. **Óculos Sonar Para Deficientes Visuais**. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-graduação – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, p.1-4, 2012. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/RE\\_0948\\_0818\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0948_0818_01.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2019.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems**. 4. ed. Si: John Wiley & Sons, Inc, 2010.

INTERNATIONAL POLICY COMMITTEE. **IPC-2221B**: Generic Standard on Printed Board Design. Northbrook, 2012.

KOOPMAN, Philip. **Embedded System Design Issues (the Rest of the Story)**. 1996. Disponível em: <<https://users.ece.cmu.edu/~koopman/iccd96/iccd96.html#small>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MELO, Helena F. R. **Deficiência Visual - Lições Práticas de Orientação e Mobilidade**. [S. l.]: Unicamp, 1991.

MICROCHIP TECHNOLOGY. **MIC5205**: 150 mA Low-Noise LDO Regulator. 2017. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005785A.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2019.

MORRIS, Alan S.. **Measurement and Instrumentation Principles**. 3. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2001.

NETO, Jonas C. N. **Sistema Embarcado Vestível e Inteligente para Auxiliar a Locomoção de Deficientes Visuais**. 2016. TCC (Engenharia da Computação), Recife, 2016.

NOERGAARD, Tammy. **Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers**. 2. ed. Newnes, 2012.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Relatório Mundial sobre a Deficiência**, The World Bank; tradução Lexicus Serviços Linguísticos. - São Paulo: SED PcD, 2012. p 334. Título original: World report on disability, 2011.

PIGANTI, Alberto. **Nano Pinout**. 2010. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/316377942546308262>>. Acesso em: 26out. 2019.

RIBEIRO FILHO, J. S.; ARAUJO, R. B.; CAVALCANTE, R. V.; BAGANHA, A. N. A. B.. **ARGOS Auxílio à Locomoção de Deficientes Visuais a partir de Pulseira Microcontrolada**. In: Computer On The Beach, 2011, Florianopolis. ANAIS DE 2011.

SAGAN, Carl. **Cosmos**. 1. ed. São Paulo: Francisco Alves, 1981. Tradução de: Paulo Geiger.

SILVA, Eduardo. **Rede Nossa São Paulo lança 12<sup>o</sup> edição da pesquisa de mobilidade urbana.** Disponível em: <<https://mobilidadesampa.com.br/2018/09/rede-nossa-sao-paulo-lanca-12a-edicao-da-pesquisa-de-mobilidade-urbana/>>. Acesso em: 05 out. 2019.

SOFIRN LIGHT. **Sofirn 14500 Battery.** Disponível em: <<http://www.sofirnligh.com/en/product/finallys/id/85.html>>. Acesso em: 06 set. 2019.

SÔNEGO, Dubes. O Cão Guia Virou Robô. Revista Época, 18 de maio de 2017. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2017/05/o-caoguia-virou-robo.html>>. Acesso em: 09 nov. 2019

STMICROELECTRONICS. VL53L0X: World's smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor. 2018.

TP ASIC. **TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8.** Disponível em: <TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8>. Acesso em: 20 set. 2019.

WHITE, Elecia. **Making Embedded Systems: Design Patterns for Great Software.** O'reilly Media, Inc, 2011.