

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS EDUARDO MAZURKIEVICZ GRACIANO

GABRIELA DALPIAZ KOBREN

**BluEase: DISPOSITIVO PARA MELHORIA DA ACESSIBILIDADE E
MOBILIDADE URBANA DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**

CURITIBA

2024

**CARLOS EDUARDO MAZURKIEVICZ GRACIANO
GABRIELA DALPIAZ KOBREN**

**BluEase: DISPOSITIVO PARA MELHORIA DA ACESSIBILIDADE E
MOBILIDADE URBANA DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**

**BluEase: Device for improving accessibility and urban mobility for visually impaired
individuals**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz

CURITIBA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CARLOS EDUARDO MAZURKIEVICZ GRACIANO
GABRIELA DALPIAZ KOBREN

**BluEase: DISPOSITIVO PARA MELHORIA DA ACESSIBILIDADE E
MOBILIDADE URBANA DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 13/Junho/2024

Guilherme Luiz Moritz
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ohara Kerusauskas Rayel
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Mariano
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA
2024

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, pela força e incentivo que nos proporcionaram ao longo da nossa caminhada. E aos nossos professores, por compartilharem seu conhecimento, guiando-nos com sabedoria e paciência.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão à UTFPR e a todos os professores que contribuíram significativamente para nossa formação ao longo do curso. Suas valiosas contribuições foram essenciais na construção de nossos conhecimentos, tornando-se pilares indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

Em especial, agradecemos o Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz, nosso orientador, cuja assistência e constante disponibilidade foram fundamentais ao longo de todo o processo de desenvolvimento deste projeto de conclusão de curso. Sua orientação não apenas nos auxiliou nas áreas técnicas em que mais necessitávamos, mas também nos guiou de maneira inestimável, tornando possível a realização deste trabalho.

Também desejamos agradecer profundamente à nossa família e aos amigos próximos, cujo apoio constante e crença em nossa capacidade nos deram força nos momentos mais desafiadores.

Por último, expressamos nossa sincera gratidão a Deus, cuja orientação e força nos guiaram até esta significativa conquista. Sua orientação foi como um farol constante que iluminou nosso caminho ao longo desta jornada, e por isso, somos profundamente agradecidos.

RESUMO

Este trabalho aborda a problemática enfrentada por pessoas com deficiência visual durante deslocamentos urbanos, ressaltando o elevado risco de acidentes e mortalidade amplificado devido a dificuldades enfrentadas na travessia de ruas. Possíveis soluções já desenvolvidas e implementadas incluem o uso de cães-guia e demais tecnologias assistivas, como semáforos sonoros. Essas soluções são de extrema relevância, pois proporcionam aos deficientes visuais uma vida com mais qualidade e segurança, facilitando seus deslocamentos e promovendo maior autonomia nas atividades diárias. No entanto, a baixa adesão aos cães-guia, devido a custos e escassez de treinadores, e limitações apresentadas por outras tecnologias assistivas já existentes destacam a necessidade de alternativas mais acessíveis e eficientes. Nesse contexto, o estudo propõe a idealização e prototipação de um dispositivo portátil que interaja com semáforos de pedestres, por meio de BLE (do inglês, Bluetooth Low Energy) e GNSS (do inglês, Global Navigation Satellite System), visando acionar o semáforo somente por aproximação. O dispositivo proposto utiliza tanto sinais sonoros quanto vibração para comunicar a autorização de travessia, proporcionando uma camada adicional de segurança. Ao aplicar conhecimentos de Engenharia Elétrica e inovações tecnológicas, a implementação desse dispositivo visa não apenas melhorar a mobilidade e tornar a travessia mais segura e autônoma, mas também se tornar uma solução viável e acessível em larga escala, promovendo inclusão e acessibilidade. Resultados apresentados ao longo desse trabalho demonstraram que o dispositivo é viável e eficaz na comunicação de autorização de travessia, mostrando potencial para ser uma solução acessível e versátil que pode, substancialmente, melhorar a qualidade de vida dos deficientes visuais e de demais grupos de pessoas.

Palavras-chave: Acessibilidade; BLE; GNSS; Tecnologia assistiva; Mobilidade; Deficiência visual.

ABSTRACT

This paper addresses the challenges faced by visually impaired individuals during urban commutes, emphasizing the heightened risk of accidents and mortality exacerbated by difficulties in street crossing. Possible solutions already developed and implemented include the use of guide dogs and other assistive technologies such as audible pedestrian signals, which are crucial for enhancing the quality and safety of life for visually impaired individuals, facilitating their mobility and fostering greater autonomy in daily activities. However, low adoption rates of guide dogs due to costs and a shortage of trainers, alongside limitations of existing assistive technologies, underscore the need for more accessible and efficient alternatives. In this context, the study proposes the conceptualization and prototyping of a portable device that interacts with pedestrian traffic lights using Bluetooth Low Energy (BLE) and Global Navigation Satellite System (GNSS), enabling activation of the signal upon approach. The proposed device utilizes both auditory signals and vibration to communicate pedestrian crossing authorization, adding an extra layer of security. By applying knowledge from Electrical Engineering and technological innovations, the implementation of this device aims not only to enhance mobility and ensure safer and more autonomous street crossings but also to become a viable and scalable solution that promotes inclusivity and accessibility. Results presented throughout this study demonstrate the feasibility and effectiveness of the device in communicating pedestrian crossing authorization, indicating its potential as an accessible and versatile solution capable of significantly improving the quality of life for visually impaired individuals and other affected groups.

Keywords: Accessibility; BLE; GNSS; Assistive technology; Mobility; Visual impairment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Divisão de redes sem fio	19
Figura 2: Estrutura Piconet.....	20
Figura 3: Estrutura Scatternet.....	21
Figura 4: Arquitetura BLE.....	22
Figura 5: Canais de frequência BLE	23
Figura 6: Intervalo <i>Advertising</i>	24
Figura 7: Conexão uni e bidirecional.....	26
Figura 8: Triangulação do GPS	28
Figura 9: Coordenadas Geográficas	29
Figura 10: Cálculo da Distância via GNSS	30
Figura 11: Exemplo Cão-Guia.....	31
Figura 12: Cores de bengalas	32
Figura 13: Bengala Inteligente WeWalk	32
Figura 14: Protótipo ALVU.....	33
Figura 15: Evolução do dispositivo ALVU.....	33
Figura 16: Botoeira Semáforo Sonoro (Curitiba).....	34
Figura 17: Lógica do semáforo (Ciclo normal).....	39
Figura 18: Lógica do Semáforo (Ciclo Especial)	40
Figura 19: Diagrama da arquitetura do projeto.....	41
Figura 20: Modelo ESP-WROOM-32.....	42
Figura 21: Pinagem ESP-WROOM-32.....	43
Figura 22: Buzzer	43
Figura 23: Kit Heltec	44
Figura 24: Pinagem Kit Heltec	44
Figura 25: Módulo Motor de Vibração	44
Figura 26: Bateria.....	45
Figura 27: Embalagem BluEase.....	45
Figura 28: Protótipo inicial BluEase.....	46
Figura 29: Protótipo inicial Semáforo	46
Figura 30: Intervalos BLE	47
Figura 31: Fluxograma identificação endereço MAC	48
Figura 32: Escala urbana semáforo	49
Figura 33: Comparação da imprecisão do GPS	50
Figura 34: Distância máxima.....	51
Figura 35: Teste GNSS 1.....	51
Figura 36: Coordenadas GNSS - teste 1	52
Figura 37: Teste GNSS 2.....	52
Figura 38: Coordenadas GNSS - teste 2	53
Figura 39: Teste desconexão.....	53
Figura 40: Teste 1 GNSS com protótipo finalizado.....	54
Figura 41: Coordenadas - teste 1 GNSS com protótipo finalizado	54
Figura 42: Teste 2 GNSS com protótipo finalizado.....	54
Figura 43: Coordenadas - teste 2 GNSS com protótipo finalizado	55
Figura 44: Teste 3 GNSS com protótipo finalizado.....	55
Figura 45: Tensão de descarga à plena carga	56
Figura 46: Tensão de descarga sem GNSS	57

Figura 47: Tensão de descarga com bateria de 800mAh	58
Figura 48: Protótipo semáforo	62
Figura 49: Protótipo BluEase	63
Figura 50: Protótipo BluEase acoplado à bengala	63
Figura 51: Fluxograma	64
Figura 52: Teste de funcionamento BluEase.....	65
Figura 53: Monitor serial teste de funcionamento	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação de conexões	26
Quadro 2: Níveis de DOPs	27
Quadro 3: Comparação tecnologias assistivas	34
Quadro 4: Coordenadas teste 1	51
Quadro 5: Coordenadas teste 2	52
Quadro 6: Descarga Advertising BLE.....	57
Quadro 7: Descarga na conexão BLE.....	57
Quadro 8: Teste de carregamento da bateria	59
Quadro 9: Resultados teste de bateria	68
Quadro 10: Análise de custos	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFH	Salto de Frequência Adaptativo (<i>Adaptive Frequency Hopping</i>)
ALVU	Matriz de Lidars e Unidades Vibrotáteis (<i>Array of Lidars and Vibrotactile Units</i>)
APS	Sinais Sonoros Acessíveis para Pedestres (<i>Accessible Pedestrian Signals</i>)
ATS	Sinal de Trânsito Audível (<i>Audible Traffic Signal</i>)
ATT	Protocolo de Atributo
BDS	Sistema de Navegação por Satélite BeiDou (<i>BeiDou Navigation Satellite System</i>)
BLE	Bluetooth de Baixa Energia (<i>Bluetooth Low Energy</i>)
CCO	Centro de Controle de Operações
DC	Corrente Contínua (<i>Direct Current</i>)
ETA	Dispositivos Eletrônicos de Auxílio à Mobilidade
GAP	Perfil de Acesso Genérico (<i>Generic Access Profile</i>)
GATT	Protocolo de Atributos Genéricos (<i>Generic Attribute Protocol</i>)
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite (<i>Global Navigation Satellite System</i>)
GPS	Sistema de Posicionamento Global (<i>Global Positioning System</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
JFVI	Federação Japonesa de Deficientes Visuais
LED	Diodo Emissor de Luz (<i>Light Emitting Diode</i>)
LoRa	Longa distância (<i>Long Range</i>)
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
NM	Milha Náutica
RF	Radiofrequência
RSSF	Redes de Sensores sem Fio
SATNAV	Navegação por satélite
TFL	Transporte de London (<i>Transport of London</i>)
URBS	Urbanização de Curitiba S/A
USB	Barramento Serial Universal (<i>Universal Serial Bus</i>)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Wi-Fi	Fidelidade Sem Fio (<i>Wireless Fidelity</i>)
WLAN	Rede Local Sem Fio (<i>Wireless Local Area Network</i>)
WMAN	Rede de Área Metropolitana Sem Fio (<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>)
WPAN	Rede de Área Pessoal Sem Fio (<i>Wireless Personal Area Network</i>)
WWAN	Rede de Área Ampla Sem Fio (<i>Wireless Wide Area Network</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Apresentação do Problema	13
1.1.1	Delimitação do tema	14
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Metodologia da Pesquisa.....	15
1.5	Estrutura do Trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Semáforo Sonoro.....	17
2.1.1	Definição.....	17
2.1.2	Funcionalidade dos Semáforos Sonoros em Curitiba.....	17
2.1.3	Custo	18
2.1.4	Semáforo sonoro ao redor do mundo.....	18
2.2	Tecnologia Wireless	18
2.2.1	Bluetooth.....	19
2.3	Bluetooth Low Energy (BLE)	21
2.3.1	Alcance máximo de conexão	21
2.3.2	Arquitetura do protocolo BLE	22
2.3.3	Physical Layer	22
2.3.4	Link Layer	23
2.3.5	Intervalo de <i>advertising</i>	24
2.3.6	GAP (Generic Access Profile).....	24
<u>2.3.6.1</u>	<u>Papéis de Dispositivos</u>	<u>25</u>
2.4	Global Navigation Satellite System (GNSS).....	26
2.4.1	GPS (Global Positioning System)	27
<u>2.4.1.1</u>	<u>Precisão.....</u>	<u>27</u>
<u>2.4.1.2</u>	<u>Funcionamento</u>	<u>28</u>
<u>2.4.1.3</u>	<u>Coordenadas Geográficas</u>	<u>28</u>
<u>2.3.6.1</u>	<u>Calculando Distância com Base em Coordenadas Geográficas.....</u>	<u>29</u>
3	PESQUISA DE MERCADO.....	31
3.1	Cães-Guia	31

3.2	Bengala Simples	31
3.3	Bengalas Inteligentes WeWALK.....	32
3.4	ALVU (Array of Lidars and Vibrotactile Units)	33
3.5	Semáforo Sonoro.....	33
3.6	Conclusão.....	34
4	METODOLOGIA.....	36
4.1	Pesquisa De Campo	36
4.1.1	Análise Dos Resultados da Pesquisa de Campo	36
4.2	Requisitos.....	38
4.3	Arquitetura.....	40
4.3.1	Conexões.....	41
4.3.2	Dispositivos	42
4.3.3	Arquitetura dos dispositivos	45
5	IMPLEMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO	46
5.1	Intervalos De Conexão Via Ble.....	46
5.2	GNSS.....	49
5.2.1	Testes de distância entre dispositivos	51
5.2.2	Testes com protótipo finalizado.....	53
5.3	Bateria.....	55
5.3.1	Estimativa de tempo de consumo – Descarga à plena carga	56
5.3.2	Estimativa de tempo de consumo – Descarga sem GNSS.....	56
5.3.3	Estimativa de tempo de consumo – Descarga das funções BLE	57
5.3.4	Estimativa de tempo de consumo – Descarga à plena carga bateria 800 mAh ..	58
5.3.5	Estimativa de tempo de carregamento	58
5.4	Modo BLE Conectado	59
6	RESULTADOS	62
6.1	Protótipos.....	62
6.1.1	Funcionamento	63
6.1.2	Teste de funcionamento	64
6.2	Utilização De GNSS	66
6.3	Estimativa Do Consumo De Bateria	68
6.4	Custos.....	69
7	CONCLUSÃO.....	72
	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNDICE A - Questionário de pesquisa	79
	APÊNDICE B - Respostas Questionário de pesquisa	83

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Problema

De acordo com dados do último censo do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2010, a porcentagem estimada de pessoas com deficiência visual, no Brasil, desde aquelas com alguma dificuldade até aquelas que não conseguem enxergar de modo algum, estava próxima de 20% (IBGE, 2010). Um estudo da Universidade de Michigan, publicado na revista *The Lancet Global Health*, em 2019, revelou que o risco de mortalidade (por diversas causas) é 29% mais elevado para pessoas com deficiência visual leve, sendo que essa porcentagem aumenta para 89% entre aqueles que possuem deficiência visual grave (BOURNE, 2021). Esses dados evidenciam a real dificuldade existente para os cegos atravessarem a rua, incluindo a falta de sinalização adequada, como semáforos sonoros ou visuais, a complexidade de avaliar a velocidade e a distância dos veículos e a ausência de uma infraestrutura que permita a travessia segura, tornando a experiência de atravessar uma rua um desafio constante e um risco iminente à segurança desses indivíduos.

Como uma forma de garantir maior segurança para essas pessoas, existem algumas iniciativas voltadas para esse tema, como o treinamento de cães-guia. Esses animais auxiliam, não só na rotina dos deficientes visuais, mas também nas travessias perigosas, dando sinais ao dono de modo a evitar acidentes. Atualmente, o cão-guia ainda é uma tecnologia assistiva com baixa adesão no Brasil, em função, principalmente, de seu elevado custo, tanto no treinamento quanto na aquisição do animal (NUNES, 2019). Por isso, existe também uma dificuldade em se obter um número suficiente de cães treinados no país, em função do baixo número de treinadores e instrutores capacitados (SCHMIDT, 2021).

Além dessa solução, existem algumas outras medidas implementadas em alguns centros urbanos para garantir uma travessia segura, como os semáforos sonoros. Em Curitiba, por exemplo, uma reportagem de abril de 2023 aponta que a Prefeitura instalou semáforos sonoros em 29 cruzamentos da cidade, principalmente na região central (G1 PR, 2023). Apesar de ser uma tecnologia inovadora e de grande auxílio para a autonomia de deficientes visuais nos deslocamentos urbanos, destaca-se que o número de semáforos desse tipo ainda é muito baixo e a comunicação com os usuários através de som pode não ser a mais adequada devido à grande interferência de barulhos externos.

Por fim, existem, também, no mercado, diversas empresas que desenvolveram bengalas inteligentes que, através de sensores e outras tecnologias, conseguem auxiliar de forma

mais precisa na locomoção, proporcionando uma maior autonomia e segurança para pessoas com deficiência visual. No entanto, o alto custo impede que muitos possam se beneficiar dessas inovações, limitando seu alcance e deixando a maioria ainda dependente de métodos tradicionais e menos eficazes para a mobilidade urbana.

Portanto, diante desse cenário, percebe-se a importância de se desenvolver tecnologias assistivas acessíveis e eficientes voltadas para assegurar a segurança e a autonomia desse grupo de pessoas mediante dos deslocamentos urbanos.

1.1.1 Delimitação do tema

O presente trabalho concentra-se no desenvolvimento de um protótipo de dispositivo portátil, destinado a interagir via BLE (*Bluetooth Low Energy*) e GNSS (*Global Navigation Satellite System*), de modo a acionar automaticamente o semáforo de pedestres. O objetivo é acionar automaticamente o semáforo por meio desse dispositivo para permitir a travessia do pedestre, apresentando vibração no próprio dispositivo e sinal sonoro no semáforo enquanto a travessia estiver autorizada. É importante ressaltar que o escopo deste projeto não abrange a implantação direta deste dispositivo na infraestrutura dos semáforos urbanos, sendo necessário, posteriormente, realizar um estudo adicional para avaliar a compatibilidade desse sistema com os semáforos já existentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de acionamento automático de semáforos para pessoas com deficiência visual.

1.2.2 Objetivos Específicos

De modo a atingir os objetivos gerais, organizou-se objetivos específicos com as etapas de desenvolvimento do trabalho:

1. Realizar pesquisa de campo com pessoas com deficiência visual de modo a entender as reais necessidades desse grupo voltadas a mobilidade urbana.
2. Identificar quais as tecnologias e equipamentos que serão empregadas com base nas funções que desejamos alcançar com esse dispositivo.
3. Desenvolver um dispositivo que consiga se comunicar via sinal BLE com o semáforo.

4. Desenvolver nesse dispositivo a capacidade de acionar o semáforo via proximidade (através do BLE e GNSS).
5. Desenvolver um dispositivo que apresente vibração e sinal sonoro.
6. Desenvolver um protótipo de semáforo que tenha um meio de receber sinais BLE e consiga traduzir essa informação em acionamento/fechamento do semáforo.
7. Obter análises de funcionamento do dispositivo, simulando diversas situações reais e verificando a resposta e eficiência do dispositivo.
8. Análise de riscos e possíveis potenciais de desenvolvimento futuro.

1.3 Justificativa

O desenvolvimento desse dispositivo assistivo para melhorar a mobilidade urbana de pessoas com deficiência visual é fundamentado em dados estatísticos que revelam uma porcentagem significativa de pessoas com deficiência visual no Brasil (IBGE, 2010), e estudos têm demonstrado que esses indivíduos enfrentam maiores riscos para acidentes em comparação com a população em geral (BOURNE, 2021).

Alternativas como a disponibilidade de cães-guia (SCHMIDT, 2021) e de tecnologias assistivas voltadas a travessia de deficientes visuais ainda possuem baixa aderência e são pouco acessíveis no país (G1 PR, 2023). Por isso, é importante reconhecer algumas limitações ofertadas por esses equipamentos, seja relacionado a questões operacionais, seja por questões de acessibilidade.

Neste contexto, ao observar produtos semelhantes já disponíveis e com o objetivo de aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de estudo nas diversas áreas da Engenharia Elétrica, propõe-se o desenvolvimento desse dispositivo portátil, com o intuito de superar essas limitações e aprimorar a comunicação e segurança nas travessias, além de se tornar um dispositivo mais acessível.

A implementação desse dispositivo contribuirá para a redução dos índices de mortalidade, promovendo uma maior segurança nas travessias e minimizando os riscos de acidentes, além de, futuramente, ter o potencial de ser disponibilizado e produzido em larga escala.

1.4 Metodologia da Pesquisa

O presente trabalho é classificado como uma pesquisa exploratória e aplicada, que visa desenvolver um sistema de acionamento automático de semáforos para pessoas com deficiência

visual. Em relação a abordagem da pesquisa, pode-se classificar como uma pesquisa quali-quantitativa, na qual foram envolvidos os dois tipos de abordagem, trabalhando com valores quantitativos, por meio de testes elétricos e validações, e valores qualitativos, dados através de uma pesquisa de campo.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho de conclusão de curso é composto por 7 Capítulos. O Capítulo 1 é a introdução, apresentando o problema, o objetivo e a justificativa do projeto. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, fornecendo uma breve explicação de conceitos e terminologias essenciais para compreender o projeto. Em seguida, o Capítulo 3 apresenta uma pesquisa de mercado, com informações sobre alguns dispositivos e iniciativas já existentes que serviram de referência para a concepção deste projeto. O Capítulo 4 é sobre a metodologia aplicada no projeto, apresentando a pesquisa de campo, requisitos e arquitetura geral do projeto. O Capítulo 5 é sobre implementação e desenvolvimento, discorrendo sobre as tomadas de decisão e processo de desenvolvimento. O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos por meio do protótipo, e por fim, o Capítulo 7 finaliza com uma conclusão sobre o trabalho realizado e, na sequência, apresentam-se as referências e anexos utilizados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse Capítulo abordará conceitos, explicações teóricas e técnicas relacionadas a temas que desempenham um papel crucial na concepção e desenvolvimento desse projeto.

2.1 Semáforo Sonoro

A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária que se compõe de indicações luminosas acionadas alternada ou intermitentemente por meio de sistema eletromecânico ou eletrônico (CONTRAN, 2014). De acordo com dados da Prefeitura de Curitiba (PREFEITURA, 2023), a cidade possui mais de 1,3 mil cruzamentos com semáforos, sendo que 96% deles estão conectados ao Centro de Controle de Operações (CCO), que realiza o monitoramento em tempo real do fluxo de veículos por meio de câmeras.

Desses cruzamentos semaforizados, 29 deles já estão implementando semáforos sonoros, que incorporam um mecanismo adicional para garantir a segurança de pedestres com deficiência visual (G1 PR, 2023).

2.1.1 Definição

Sinais sonoros de trânsito, conhecidos como APS (semáforos acessíveis para pedestres), são dispositivos de áudio incorporados nos semáforos para auxiliar pedestres cegos e com deficiência visual (InclusiveCityMaker, 2023).

Além disso, muitos APS também oferecem indicações táteis e vibratórias, como escritas em braile e vibração no botão de acionamento. Os pedestres cegos ativam o botão para acionar o APS, garantindo que tenham informações claras sobre quando atravessar com segurança (InclusiveCityMaker, 2023).

2.1.2 Funcionalidade dos Semáforos Sonoros em Curitiba

Além do acionamento comum do semáforo, quando essa botoeira é pressionada por um período de três segundos, gera uma vibração e aciona a emissão de um sinal sonoro desde a abertura até o fechamento do semáforo. Essa funcionalidade é projetada para alertar e orientar pedestres com deficiência visual sobre o status do semáforo. O semáforo sonoro pode, também, ser acionado através do uso de um cartão-transporte de isento da URBS (Urbanização de Curitiba), oferecendo uma alternativa de acionamento adicional que pode ser conveniente para pedestres com mobilidade reduzida e idoso que necessitam de um tempo prolongado para travessia (CZERWONKA, 2023).

2.1.3 Custo

Ao considerar a instalação de Sinais Sonoros de Travessia Acessíveis, diversas características específicas devem ser minuciosamente avaliadas para determinar o seu custo de instalação, como a presença de postes de sinalização para pedestres e a eventual instalação adicional de condutos ou cabos (InclusiveCityMaker, 2023).

Em Curitiba, a empresa responsável pela fabricação desses semáforos inteligentes é a DATAPROM (DATAPROM, 2023). Com base em um orçamento feito com a própria empresa, em geral, o custo de um cruzamento simples varia entre R\$ 150 mil a R\$ 300 mil, sendo influenciado pelos acessórios implementados, como botoeiras sonoras e sensores de veículos. Um decreto municipal de maio de 2023 apresentou os custos unitários praticados pela Prefeitura de Curitiba (IPPUC, 2023) para expansão gradual e manutenção da sinalização semafórica, com Quadros detalhando todos os gastos relacionados. Somente com controladores, o valor médio unitário mencionado foi de cerca de 30 mil reais, além de todos os diversos gastos com cabo, suportes, placas, serviço de instalação etc.

2.1.4 Semáforo sonoro ao redor do mundo

O desenvolvimento dos sinais sonoros de travessia acessíveis segue um padrão consistente globalmente, com a emissão contínua de um som durante toda a fase verde, indicando o período seguro para pedestres atravessarem a rua. Apesar dessa semelhança, cada país introduz suas características únicas e adaptações para atender às necessidades e preferências locais.

Na França, por exemplo, diferentemente dos métodos nos Estados Unidos, pedestres com deficiência visual na França podem acionar os APS por meio de um controle remoto ou aplicativo de smartphone, permitindo uma ativação sob demanda enquanto se aproximam de uma interseção (InclusiveCityMaker, 2023).

Já no Japão, de acordo com uma pesquisa feita em 2020, havia 208.152 semáforos, dos quais apenas 24.367 eram sinais sonoros para pedestres (TASAKI, 2020). Porém, de acordo com a Federação Japonesa de Deficientes Visuais (JFVI), 84% deles estavam configurados para não emitir sons durante parte ou mesmo todo o dia (TASAKI, 2020).

2.2 Tecnologia Wireless

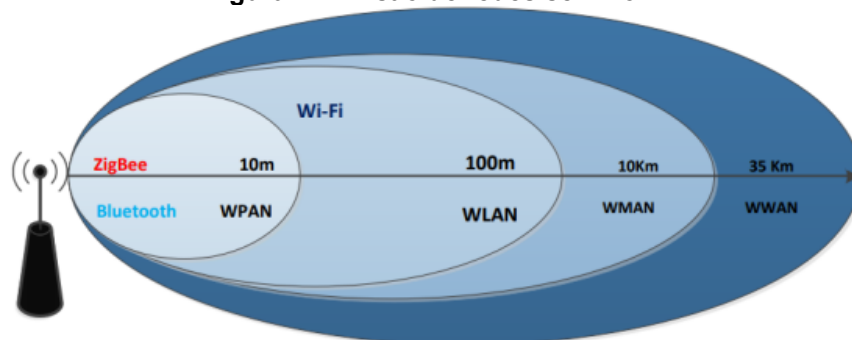
As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) têm experimentado um rápido desenvolvimento e sua aplicação tem se ampliado em diversos setores da sociedade devido à

sua capacidade de monitorar e controlar ambientes sem depender de conexões físicas (DRECHSLER, 2018).

Quando se trata das topologias das redes sem fio, várias tecnologias podem ter uma ou mais topologias implementáveis. As principais topologias em aplicações de IoT (Internet das Coisas) são árvore, estrela e *mesh* (OLIVEIRA, 2020). Em uma rede de topologia estrela, um único nó, chamado de coordenador, fornece todas as informações e as distribui em uma rota única para os demais nós. Por outro lado, em uma rede *mesh*, os dados do coordenador têm várias rotas possíveis para alcançar os nós de destino, que são chamados de dispositivos finais (OLIVEIRA, 2020).

Dependendo da área de aplicação e no alcance do sinal desejado, a comunicação sem fio (Wireless) pode ser empregada em diversas redes, como WPANs (Wireless Personal Area Network), WLANs (Wireless Local Area Network), WMANs (Wireless Metropolitan Area Network) e WWANs (Wireless Wide Area Network) (DRECHSLER, 2018). A Figura 1 representa essa divisão das redes sem fio.

Figura 1: Divisão de redes sem fio



Fonte: DRECHSLER (2018, p. 7)

Para limitação dessa pesquisa, focar-se-á nas WPANs, uma vez que essas redes sem fio possuem um alcance que abrange apenas algumas dezenas de metros e permite a conexão sem fio entre dois dispositivos localizados próximos. Como esse projeto visa uma conexão sem fio entre o semáforo de pedestre e o dispositivo portátil, o alcance de 10 metros é suficiente. Dentre as tecnologias utilizadas nas WPANs está o Bluetooth.

2.2.1 Bluetooth

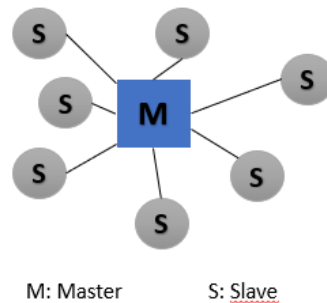
Criado por Ericsson em 1994, o Bluetooth, também chamado de IEEE 802.15.1, opera na frequência de 2,4 GHz e baixo alcance, de modo a utilizar uma frequência de rádio de ondas curtas para criar conexão entre dispositivos que possuem a mesma frequência. Essa tecnologia se destaca por ser robusta, ter baixo consumo de energia e ser economicamente acessível.

Devido à comunicação por rádio, não é essencial ter uma linha direta de visão entre o dispositivo transmissor e o receptor; apenas é requerida uma potência mínima de recepção para seu funcionamento (DRECHSLER, 2018).

Os dispositivos Bluetooth se comunicam usando o princípio de mestre-escravo e podem ser configurados em duas topologias: piconet e scatternet. Piconets são redes Bluetooth menores que podem conter até 8 dispositivos. Cada piconet é liderada por um "nó mestre" que desempenha um papel crucial na coordenação da comunicação. Os outros 7 dispositivos são chamados de "nós escravos". A cobertura típica de uma piconet se estende a cerca de 10 metros (DRECHSLER, 2018).

A comunicação em uma piconet pode ser de dois tipos: ponto a ponto, onde um dispositivo se comunica diretamente com o mestre, ou ponto multiponto, em que o mestre se comunica com vários nós escravos, mas nunca existe uma comunicação entre escravos, como mostra a Figura 2.

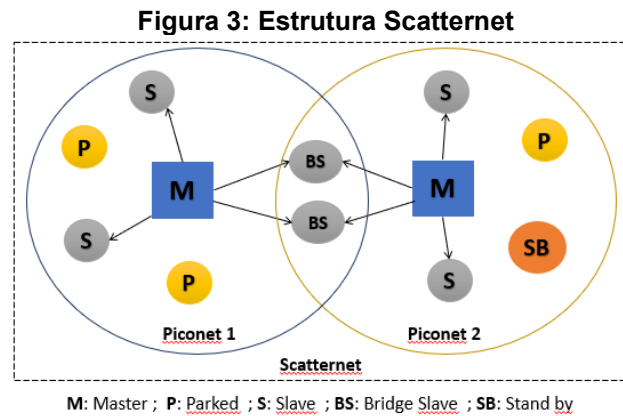
Figura 2: Estrutura Piconet



Fonte: Adaptado de DRECHSLER (2018)

Além disso, para economizar energia, os dispositivos escravos podem entrar no modo *standby* quando não estão ativamente envolvidos na comunicação, o que ajuda a prolongar a vida útil da bateria (DRECHSLER, 2018).

Já as Scatternets são redes maiores formadas pela sobreposição de várias piconets, como mostra a Figura 3. Isso permite que dispositivos escravos pertençam a múltiplas piconets, o que é especialmente útil em ambientes com múltiplos dispositivos Bluetooth. No entanto, quando um dispositivo escravo sai de uma piconet, ele deve informar ao mestre que não estará disponível por um período, enquanto os outros dispositivos na piconet continuam a se comunicar normalmente (DRECHSLER, 2018).



Fonte: Adaptado de DRECHSLER (2018)

É importante notar que se o nó mestre de uma piconet deixa a rede, ela se torna temporariamente indisponível até que o mestre retorne e reestabeleça a comunicação (DRECHSLER, 2018).

Essa estrutura complexa de piconets e scatternets é fundamental para a flexibilidade e escalabilidade da tecnologia Bluetooth, permitindo a conectividade de dispositivos em uma variedade de ambientes e cenários de uso.

2.3 Bluetooth Low Energy (BLE)

A versão Bluetooth 4.0 seguiu como referência para o Bluetooth LE, trazendo qualidades para atender os novos requisitos de produtos e enfrentar os novos desafios técnicos e requerimentos funcionais (BLUETOOTH, 2023). Bluetooth Low Energy é um conjunto de especificações desenvolvidas para uma comunicação de pequena distância por wireless, usando baixa energia e tendo suporte a aplicações de IoT (MICROCHIP, 2023).

Essa tecnologia tem suporte a outras topologias de comunicação além da topologia “point to point”. Além disso, foi a precursora do Bluetooth mesh networking, o que possibilita uma rede com centenas de dispositivos se comunicando entre si (BLUETOOTH, 2023).

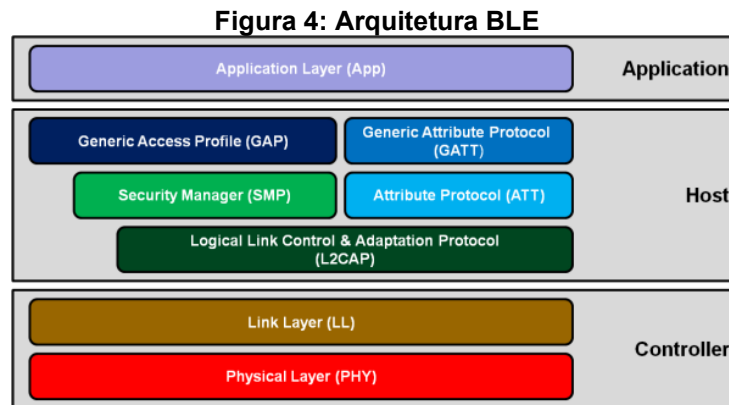
2.3.1 Alcance máximo de conexão

O Bluetooth Low Energy (BLE) faz parte da classe 2 do Bluetooth. As classes de Bluetooth se referem à potência de saída dos dispositivos e, portanto, à sua faixa de alcance. Na classe 2, a potência de saída típica é de cerca de 2,5 mW, proporcionando um alcance padrão de aproximadamente 10 metros, contudo vários fatores podem afetar essa distância (CHARLEAUX, 2022). A potência de transmissão é crucial para o alcance, mas seu aumento também implica maior consumo de bateria. Obstáculos, como paredes ou objetos metálicos,

podem, também, atenuar o sinal (LI, 2023). Já materiais como madeira, vidro, acrílico e plástico são não geram uma influência significativa na transmissão. Por fim, a interferência de dispositivos na mesma frequência também é um desafio, embora o BLE implemente salto de frequência adaptativo, que será discutido posteriormente.

2.3.2 Arquitetura do protocolo BLE

A arquitetura do Bluetooth LE é separada em 3 níveis, nos quais cada um tem uma função específica, como mostra a Figura 4 abaixo. A Camada de Aplicação é responsável por oferecer funcionalidades específicas da aplicação, gerenciando a lógica de interação com o usuário e implementando perfis de aplicação padronizados. Na Camada de Host, atuando como uma interface intermediária, são gerenciadas as comunicações entre a aplicação e o controlador. Por fim, a Camada de Controlador lida com a parte física da comunicação, supervisionando o rádio Bluetooth, tratando de operações de baixo nível, como modulação de sinais e sincronização (MICROCHIP, 2023).

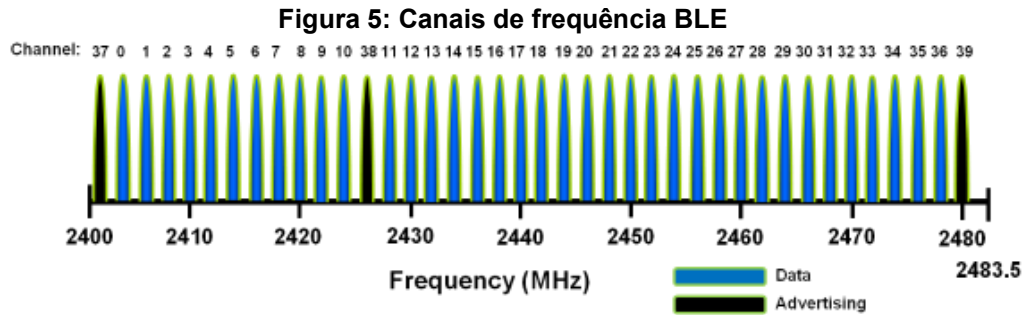


Fonte: Microchip (2023, p. 1)

2.3.3 Physical Layer

A camada de *Physical Layer* estabelece todos os elementos da tecnologia Bluetooth relacionados ao emprego de radiofrequência (RF), abrangendo esquemas de modulação, faixas de frequência, uso de canais, e características dos transmissores e receptores (BLUETOOTH, 2023).

O Bluetooth LE usa a frequência de 2,4GHz e tem um range de frequência que varia de 2400 MHz até 2483,5 MHz, dividido em 40 canais com espaçamento de 2 MHz, como é mostrado na Figura 5 (BLUETOOTH, 2023).



Fonte: Microchip (2023, p. 1)

Os 40 canais do BLE são divididos em duas categorias distintas: *advertising* e *data*. Os canais 37, 38 e 39 são especificamente designados para fins de *advertising*, sendo utilizados para descobrir dispositivos e estabelecer conexões. Por outro lado, os demais canais são destinados à transmissão de dados, empregados para viabilizar uma comunicação bidirecional entre os dispositivos conectados (MICROCHIP, 2023).

Contudo, devido à utilização do espectro livre de 2,4 GHz, o BLE enfrenta o risco de interferir com um sinal Wi-Fi/802.11 que esteja ativo na mesma região. Para contornar essa situação, é empregado o mecanismo salto de frequência adaptativo. Esse processo ajusta dinamicamente o mapa de frequências disponíveis, excluindo os canais já ocupados da lista de disponibilidade. Isso visa minimizar as interferências e otimizar a coexistência entre o BLE e outros sinais de rádio presentes na mesma faixa de frequência (UFRJ, 2012).

2.3.4 Link Layer

A Camada de Ligação no contexto do Bluetooth LE desempenha um papel central e complexo na especificação, sendo responsável por definir os tipos de pacotes transmitidos pelo ar, juntamente com o protocolo de interface aérea associado (BLUETOOTH, 2023). Essa camada de controle de conexão em dispositivos tem cinco estados: *Standby*, *Advertising*, *Scanning*, *Initiating* e *Connection*.

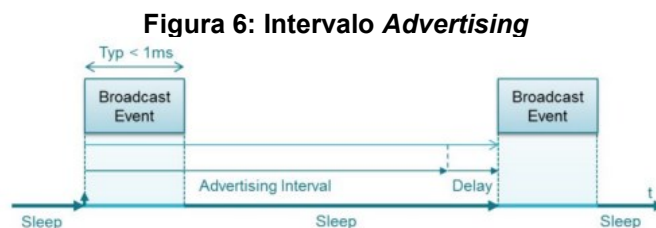
O estado de "*Standby*" representa a inatividade, onde o dispositivo não transmite nem recebe pacotes, minimizando o consumo de energia. Durante o estado de "*Advertising*", o dispositivo ativamente transmite pacotes de publicidade, podendo também processar pacotes de resposta de outros dispositivos interessados. O estado "*Initiating*" é acionado quando um dispositivo responde a pacotes de publicidade de outro, solicitando uma conexão. No estado "*Scanning*", um dispositivo ouve pacotes de publicidade de outros dispositivos, identificando aqueles disponíveis para conexão (UFRJ, 2012).

O estado de "*Connection*" representa a fase ativa da comunicação bidirecional entre dois dispositivos. Nesse estado, são definidos dois papéis importantes: o papel Central e o papel Periférico. Um dispositivo que inicia uma conexão e faz a transição do estado de "*Initiating*" para o estado de "*Connection*" assume o papel Central. Por outro lado, um dispositivo que aceita uma solicitação de conexão, fazendo a transição do estado de "*Advertising*" para o estado de "*Connection*", assume o papel Periférico (BLUETOOTH, 2023).

Estados específicos, como "*Isochronous Broadcast*" e "*Synchronization*", lidam com transmissões de dados sincronizadas e ouvem pacotes periódicos, respectivamente (BLUETOOTH, 2023).

2.3.5 Intervalo de *advertising*

Um dispositivo com BLE economiza energia permanecendo em modo "*sleep*" na maior parte do tempo e acordando brevemente para transmitir dados. Esses intervalos entre as transmissões, conhecido como intervalo de *advertising*, é ilustrado na Figura 6 (DE ARAUJO, 2016).



Fonte: DE ARAUJO (2016, p. 18)

Em topologias sem pareamento, o intervalo mínimo é de 100 ms, e para os conectáveis, é de 20 ms, com um atraso de 0 a 10 ms para prevenir colisões entre anúncios de dispositivos distintos.

2.3.6 GAP (Generic Access Profile)

O Perfil de Acesso Genérico (GAP) é um conjunto de procedimentos que lidam com a descoberta e conexão entre dispositivos. Ele aborda a comunicação sem fio, a utilização de publicidade periódica e a configuração de comunicação isócrona, onde a entrega de dados ocorre em intervalos regulares e previsíveis. Este protocolo é fundamental para estabelecer e gerenciar conexões entre dispositivos em ambientes de comunicação sem fio (BLUETOOTH, 2023).

2.3.6.1 Papéis de dispositivos

O Perfil de Acesso Genérico (GAP) define quatro papéis de dispositivo:

Broadcaster: dispositivo que utiliza estratégias de publicidade para transmitir dados de maneira não conectada. A principal função de um "Broadcaster" é enviar informações de maneira aberta, permitindo que outros dispositivos possam descobri-lo. Ele não aceita conexões de dispositivos Centrais, a menos que também esteja desempenhando o papel de "Periférico". Em outras palavras, o "Broadcaster" foca na transmissão de dados de forma unilateral, sem estabelecer conexões ativas (BLUETOOTH, 2023).

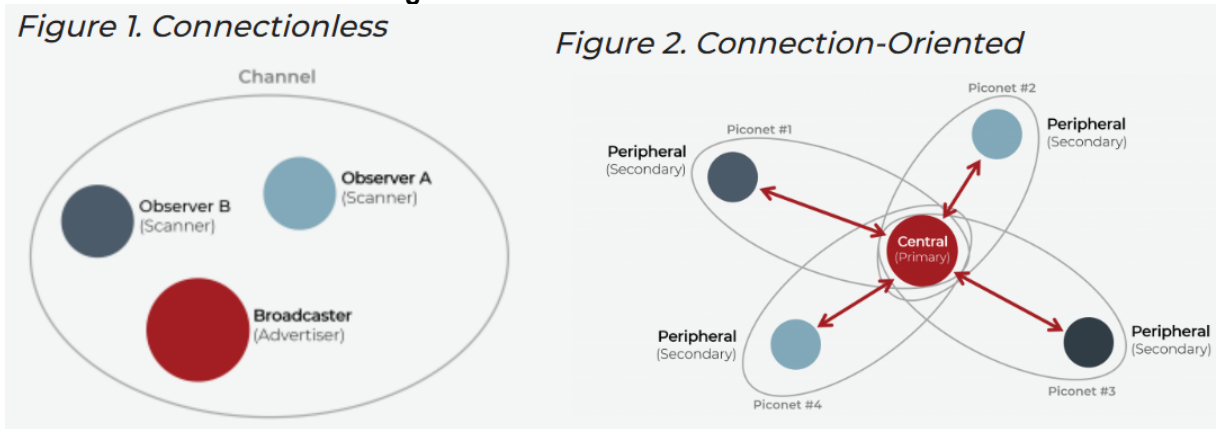
Observer: dispositivo que se destina a receber pacotes de publicidade ou dados transmitidos de forma isócrona em um formato de broadcast. Ao contrário de outros papéis, o "Observer" não busca estabelecer conexões ativas com outros dispositivos, mas sim concentra-se em receber dados de maneira não conectada (BLUETOOTH, 2023).

Peripheral: pode ser conectado por um dispositivo "Central". Este dispositivo "Peripheral" possui tanto um transmissor quanto um receptor, o que significa que é capaz de enviar e receber dados durante a comunicação. A função principal de um dispositivo "Peripheral" é aceitar conexões de dispositivos "Central" e interagir com eles. Este papel é comumente desempenhado por dispositivos que oferecem serviços ou funcionalidades específicas, sendo controlados por um dispositivo "Central" (BLUETOOTH, 2023).

Central: equipado com transmissor e receptor, o "Central" assume a iniciativa de se conectar a dispositivos "Peripheral", como sensores ou relógios inteligentes, e gerencia a comunicação bidirecional subsequente (BLUETOOTH, 2023). Além disso, pode-se dizer que o dispositivo "Peripheral" é pequeno, de baixo consumo de energia e recursos limitados e se conecta ao dispositivo "Central", que geralmente possui mais poder de processamento e memória.

A conexão dos dispositivos "Peripheral" e "Central" é diferente da conexão entre um "Broadcaster" e "Observer", uma vez que o primeiro par tem uma conexão orientada (ou bidirecional), enquanto o segundo par tem conexão unidirecional (STEWART, 2023). Na Figura 7 abaixo, é mostrada uma representação de como ficam esses dois tipos de conexão.

Figura 7: Conexão uni e bidirecional



Fonte: Stewart (2023, p. 1)

Em resumo, uma comparação entre os dois modos de conexão pode ser vista na Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Comparação de conexões

GAP Role	Unidirecional	Bidirecional
Ativo	Broadcaster	Peripheral (Server)
	<ul style="list-style-type: none"> - Um <i>advertiser</i> - Somente transmite - Envia periodicamente pacotes de anúncios - Não permite conexão 	<ul style="list-style-type: none"> - Um <i>follower</i> - Manda sinais de "Advertising" para estabelecer uma conexão - Permite uma única conexão com o ponto central
Passivo	Observer	Central (Client)
	<ul style="list-style-type: none"> - Um <i>scanner</i> - Somente recebe - Procura por pacotes de anúncios - Não inicia conexão 	<ul style="list-style-type: none"> - Um <i>initiator</i> - Procura anúncios para iniciar uma conexão - Permite várias conexões com pares periféricos

Fonte: Stewart (2023, p. 1)

Diante da Quadro 1, temos que os dispositivos “ativos” são os que enviam pacotes de *advertiser* para tentar uma conexão com os “passivos”. Os “passivos” recebem os pacotes de *advertiser* dos “ativos” e podem processar informações, com base nessa conexão.

2.4 Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS, ou Sistema Global de Navegação por Satélite, é um termo abrangente que engloba todos os sistemas globais de posicionamento por satélite. De forma equivocada, o termo GNSS também é amplamente utilizado hoje para se referir a qualquer sistema SATNAV (Navegação por Satélite) global individual. Porém, dentre os diversos sistemas SATNAV

inclusos no GNSS, estão: o chinês BeiDou Sistema de Navegação por Satélite (BDS), o sistema Europeu Galileo, o Sistema GLObal de Navegação por Satélite da Federação Russa (GLONASS), o Sistema de Posicionamento Global (GPS) dos Estados Unidos etc. (KAPLAN, 2017).

2.4.1 GPS (Global Positioning System)

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de radionavegação que fornece informações precisas e em tempo real sobre a localização de pontos na superfície terrestre. Desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, ele utiliza uma rede de 24 satélites artificiais para captar dados e fornecer informações sobre a posição de qualquer ponto na superfície terrestre, utilizando coordenadas geográficas como latitude e longitude (GOMES, 2010). Os 24 satélites foram distribuídos em 6 planos orbitais, cada um completando voltas ao redor da Terra a cada 12 horas. Dessa maneira, em qualquer ponto do globo e a qualquer momento, existem pelo menos 4 satélites posicionados acima do plano horizontal que atravessa o receptor. Isso assegura uma geometria mínima necessária para possibilitar o posicionamento durante as 24 horas do dia (DE CERQUEIRA, 1997).

2.4.1.1 Precisão

Atualmente, em média, os receptores de navegação conseguem determinar a posição instantânea com uma precisão de metros (precisão horizontal de 3 metros ou melhor e uma precisão vertical de 5 metros ou melhor), com um nível de confiança de 95% (GOMES, 2010). O fato de a leitura não possuir 100% de precisão tem relação com as fontes de erro de GNSS, dadas pela posição dos satélites em relação ao horizonte, onde mais obstáculos e atmosfera podem interferir no sinal recebido pelo receptor (Forest-GIS, 2018).

Dentre as variáveis que representam erro estão as de diluição de precisão (DOP): HDOP (Diluição da Precisão Horizontal), VDOP (Diluição da Precisão Vertical), PDOP (Diluição da Precisão de Posição), TDOP (Diluição da Precisão Temporal) e GDOP (Diluição da Precisão Geométrica) (Forest-GIS, 2018). A Quadro 2 abaixo mostra os níveis possíveis de DOPs:

Quadro 2: Níveis de DOPs

Nível DOP	Qualidade	Descrição
< 1	Ideal	Nível de confiança mais alto; máxima precisão possível em todos os momentos.

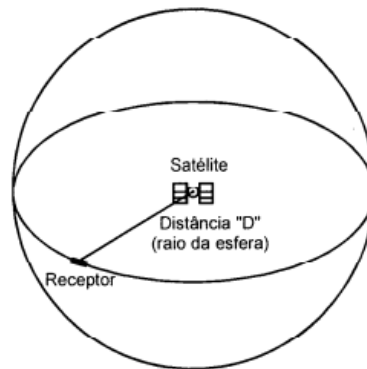
Nível DOP	Qualidade	Descrição
1 – 2	Excelente	Medições precisas
2 – 5	Bom	Medições com precisão adequadas
5 – 10	Moderado	Qualidade moderada. Correção recomendada
10 – 20	Fraco	Nível de confiança baixo. Considere descartar dados
>20	Ruim	Precisão muito baixa. Erros podem atingir 300 metros

Fonte: Forest-GIS (2018, p. 1)

2.4.1.2 Funcionamento

Seu princípio de funcionamento se baseia no conceito de triangulação, determinando da distância entre um ponto (receptor) a outros de referência (satélites) (DE CERQUEIRA, 1997). Cada satélite transmite um sinal contendo sua localização e o tempo em que o sinal foi enviado. O receptor recebe esses sinais e calcula quanto tempo demorou para o sinal chegar, baseado na diferença entre o tempo de transmissão e o tempo de recebimento. Com isso, o receptor pode determinar a distância D entre ele e cada satélite, conforme a Figura 8 (GOMES, 2010).

Figura 8: Triangulação do GPS



Fonte: DE CERQUEIRA (2010, p. 27)

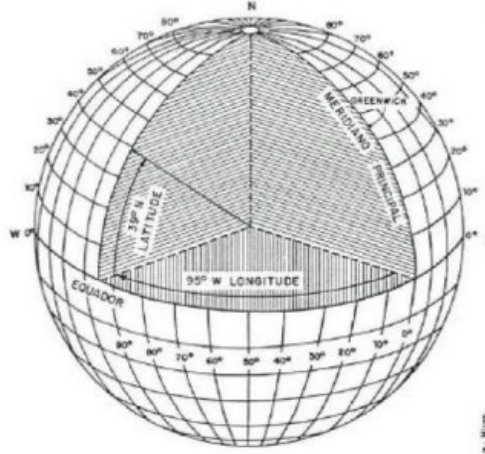
Quatro satélites são necessários para calcular uma posição fixa tridimensional (latitude, longitude e altitude), por meio da interseção das circunferências cujos raios são as distâncias medidas entre o receptor e os satélites. Porém, muitos receptores usam os sinais de satélites adicionais para verificar a precisão do cálculo (GOMES, 2010).

2.4.1.3 Coordenadas Geográficas

O sistema de coordenadas geográficas é essencial para localizar pontos na Terra, baseando-se na interseção de meridianos e paralelos (Figura 9). Cada ponto é descrito em

termos de sua latitude, medida em graus ao longo dos paralelos em relação ao Equador, e sua longitude, medida em graus ao longo dos meridianos em relação ao Meridiano Principal (Greenwich) (GOMES, 2010).

Figura 9: Coordenadas Geográficas

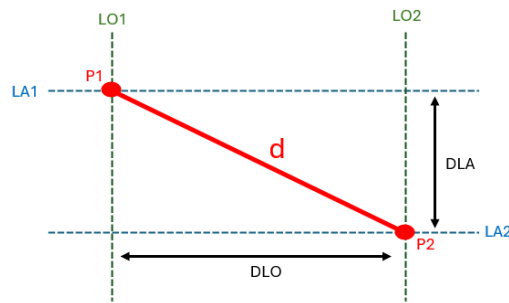


Fonte: GOMES (2010, p. 9)

A maioria dos receptores GPS disponíveis no mercado oferece diferentes formatos matemáticos para representar coordenadas de latitude e longitude. Estes incluem: 1) apenas graus (por exemplo, S23.45678°), precedido do hemisfério (N, S, L ou O); 2) graus e minutos inteiros (por exemplo, N23° 45.678'); e 3) graus, minutos e segundos (por exemplo, O23° 45' 12.3"). Os receptores GPS também têm a capacidade de converter automaticamente entre esses formatos, permitindo que os usuários selecionem a representação mais adequada às suas necessidades de uso (GOMES, 2010).

2.4.1.4 Calculando Distância com base em Coordenadas Geográficas

Como mencionado na Seção 2.4.1.3, uma coordenada geográfica utiliza o sistema cartesiano para identificar localidades. Isso significa que as coordenadas de latitude e longitude podem ser representadas como pontos em um sistema de eixos do tipo “x” e “y”, como mostra a Figura 10 abaixo.

Figura 10: Cálculo da Distância via GNSS

Fonte: Autoria própria (2024)

Os pontos P1 e P2 representam duas localidades espaciais, com suas respectivas latitudes (LA1 e LA2) e longitudes (LO1 e LO2), indicadas por ângulo, minuto e segundo ($xx^{\circ} xx' xx''$). Para cálculo do comprimento, inicialmente deve-se calcular as diferenças de latitude (DLA) e longitude (DLO), por meio da diferença angular entre seus respectivos valores de latitude e longitude.

Com essas diferenças calculadas em ângulo, é necessário transformá-las em distância. Para isso, considera-se que $1^{\circ} = 60' = 3600'' = 60 \text{ NM}$, onde NM (milha náutica) é equivalente a 1852 m (FALCONI, 2009). Por fim, para encontrar a distância d , em metros, basta utilizar a fórmula de Pitágoras no triângulo retângulo:

$$d = \sqrt{DLA^2 + DLO^2}$$

3 PESQUISA DE MERCADO

A concepção do protótipo neste projeto se baseia em produtos similares já existentes, com a intenção de abordá-los sob uma ótica inovadora, através da incorporação de tecnologias modernas. Alguns desses produtos de referência serão destacados nesta Seção.

3.1 Cães-Guia

Uma das tecnologias assistivas utilizadas como referência foram os cães-guia. Esses cães desempenham um papel fundamental no auxílio à locomoção de pessoas com deficiência visual, possibilitando independência, autonomia, liberdade, confiança e inclusão social (OLIVEIRA, 2019). Também considerados uma terapia assistiva, eles auxiliam o tutor na identificação e no desvio de obstáculos nas ruas, facilitam a travessia de vias e oferecem suporte em diversas atividades cotidianas (PIMENTA, 2023). A Figura 11 mostra um exemplo de cão guia em serviço.



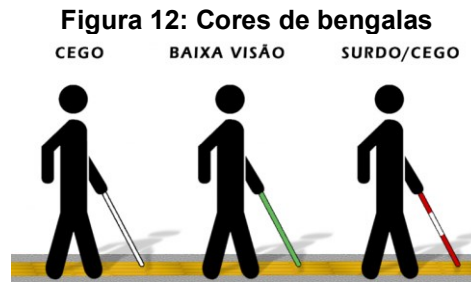
Fonte: PIMENTA (2023, p. 1)

Duas organizações sem fins lucrativos desempenham um papel fundamental no treinamento e fornecimento de cães-guia no Brasil: o Instituto Magnus e a Helen Keller, com sede em Balneário Camboriú (SC). Porém, de acordo com o Instituto Magnus, o preço para treinar um cão varia de R\$ 60 mil a R\$ 80 mil e pode levar cerca de 18 meses para ser finalizado (SCHMIDT, 2021). Por isso, a distribuição de cães-guia treinados para pessoas com deficiência visual ainda é limitada, considerando a crescente demanda por essa tecnologia assistiva no país (DO NASCIMENTO, 2020).

3.2 Bengala Simples

A bengala tem papel essencial não só como dispositivos de auxílio à locomoção para deficientes visuais, mas também como um símbolo da cegueira. No entanto, foi no início do

século XX que a bengala assumiu a forma que se conhece atualmente, adotando branco para simbolizar que o indivíduo é cego, verde para baixa visão e vermelha e branca para surdo cego, como mostra a Figura 12 (WEID, 2015).



Fonte: Louis Braille (2020, p. 1)

Quando utilizada adequadamente, proporciona proteção contra obstáculos no caminho, transmite informações sobre a textura das superfícies através de sua ponta, conduzindo vibrações até o dedo indicador, a mão e os ouvidos, e alerta o usuário sobre alterações na superfície, como inclinações, buracos e declives (WEID, 2015).

3.3 Bengalas Inteligentes WeWALK

Existem, no mercado, diversas empresas que desenvolveram bengalas inteligentes que, através de sensores e outras tecnologias, conseguem auxiliar de forma mais precisa na locomoção, como por exemplo as bengalas da WeWALK. De acordo com informações encontradas no site da empresa, dentre as funcionalidades dessa bengala, destacam-se a detecção de obstáculos acima do peito com sensores ultrassônicos e alerta com vibração; sincronização com celulares (por meio de Bluetooth) e integração ao Assistente de Voz e ao Google Maps. A bateria dura, em média, 5 horas. A Figura 13 mostra um modelo dessa bengala.

Figura 13: Bengala Inteligente WeWalk



Fonte: WeWALK (2023, p. 1)

De acordo com pesquisas de preço realizadas no ano de 2023, o preço apresentado no site oficial da empresa é de R\$ 5400,00 com entrega prevista para 20 dias corridos.

3.4 ALVU (Array of Lidars and Vibrotactile Units)

Um artigo publicado em 2018 pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) e apresentado na Conferência Internacional de Robôs e Automação, em Cingapura, buscou desenvolver um dispositivo vestível e discreto que ajuda pessoas com deficiência visual a detectar obstáculos e limites em seu ambiente, sem utilização de uma bengala (KATZSCHMANN, 2018).

O chamado ALVU (Array of Lidars and Vibrotactile Units) é composto por duas partes: uma faixa de sensores (A) e uma correia tátil (B). A faixa de sensores, utilizada na cintura do usuário, é um conjunto de sensores cujos pulsos de luz infravermelha fornecem medições confiáveis e precisas das distâncias entre o usuário e obstáculos ou superfícies circundantes. Já a correia tátil comunica as distâncias medidas por meio de um conjunto de motores vibratórios usados na parte superior do abdômen do usuário, proporcionando feedback vibratório (KATZSCHMANN, 2018). A Figura 14 mostra esse dispositivo.

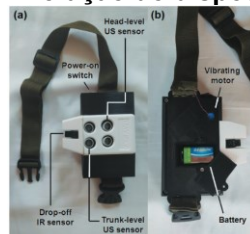
Figura 14: Protótipo ALVU



Fonte: KATZSCHMANN (2018, p. 4)

Com base nesse dispositivo, em estudos mais recentes de 2022, um estudo publicado por Erick Javier Argüello Prada e Lina María Santacruz Forero (ARGÜELLO; SANTACRUZ, 2022) buscou desenvolver um dispositivo que, além do proposto por Katzschmann, também fosse capaz de detectar objetos em movimento (Figura 15). Porém, o dispositivo falhou em quatro dos doze testes quando realizados ao ar livre devido a luz ambiente

Figura 15: Evolução do dispositivo ALVU



Fonte: ARGÜELLO; SANTACRUZ (2022, p. 10)

3.5 Semáforo Sonoro

O semáforo sonoro é um componente importante do sistema de semáforos que incorpora um mecanismo adicional para garantir a segurança de pedestres com deficiência

visual, cujo funcionamento já foi detalhado na Seção 2.1.3. Ele consiste em um semáforo padrão junto com uma botoeira, como a mostrada na Figura 16.

Figura 16: Botoeira Semáforo Sonoro (Curitiba)



Fonte: Prefeitura de Curitiba (2023, p. 1)

3.6 Conclusão

Considerando todas as opções anteriormente mencionadas, é evidente que cada uma delas apresenta vantagens e limitações distintas. A fim de proporcionar uma compreensão mais clara e facilitar a comparação, a Quadro 3 a seguir foi elaborada para destacar esses aspectos.

Quadro 3: Comparação tecnologias assistivas

Tecnologia Assistiva	Pontos Positivos	Pontos Limitantes
Cães-guia	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciona independência, autonomia, liberdade, confiança e inclusão social. - Transformações significativas na qualidade de vida de deficientes visuais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo de treinamento (R\$60 a R\$80 mil) e tempo de formação (cerca de 18 meses). - Distribuição limitada de cães-guia treinados devido à demanda crescente
Bengala Simples	<ul style="list-style-type: none"> - Proteção contra obstáculos, transmissão de informações sobre textura das superfícies e alerta sobre alterações na superfície. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não fornece informações sobre travessia de rua segura.
Bengalas Inteligentes (WeWALK)	<ul style="list-style-type: none"> - Detecção de obstáculos, sincronização com celulares e integração ao Google Maps. - Touchpad integrado, controle por voz e bateria com duração de 5 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de R\$5400,00 pode ser um obstáculo para alguns usuários.

Tecnologia Assistiva	Pontos Positivos	Pontos Limitantes
ALVU (Array of Lidars and Vibrotactile Units)	- Dispositivo vestível discreto que detecta obstáculos sem uso de bengala.	- Problemas em ambientes externos devido à luz ambiente. - Protótipo ainda em estudo.
Semáforo Sonoro	- Segurança adicional para pedestres com deficiência visual, alertando sobre o status do semáforo.	- Disponibilidade limitada (29 semáforos sonoros em Curitiba). - Dificuldade de localizar o botão de acionamento. - Sons externos atrapalham na detecção do aviso sonoro. - Inviabilidade de instalação em todos os cruzamentos devido a questões técnicas e custo.

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base na Quadro 3, é possível perceber que, apesar de algumas iniciativas voltadas a esse tema já existirem, existem algumas limitações ofertadas por esses equipamentos, seja relacionado a questões operacionais, seja por questões de acessibilidade e custo.

No que se refere aos custos, o uso de uma bengala inteligente e a instalação de semáforos sonoros em todos os cruzamentos apresentam um custo elevado, como já foi mencionado nas seções 2.1.3 e 3.3, o que torna essas tecnologias assistivas pouco acessíveis para a maioria da população deficiente visual. Além disso, o cão-guia ainda é uma tecnologia assistiva com baixa adesão no Brasil, em função, principalmente, de seu elevado custo e disponibilidade de cães treinados (NUNES, 2019).

Além disso, questões técnicas de alguns equipamentos são um fator limitante, pois podem sofrer interferências do meio ambiente, como ocorre com o ALVU e os semáforos sonoros. De acordo com a pesquisa de campo realizada (Apêndice B), cuja análise de resultado será feita na Seção 4.1.1, em comparação com os semáforos convencionais, a grande maioria dos participantes (93,5%) expressou a opinião de que o semáforo sonoro é mais eficiente (Gráfico 7 no Apêndice B). No entanto, 73,3% ainda enfrentam dificuldades para identificar ou localizar esses semáforos sonoros (Gráfico 8 no Apêndice B).

Diante dessas dificuldades e com o objetivo de amenizar essas limitações, os resultados da pesquisa de campo indicaram que o desenvolvimento do dispositivo proposto nesse projeto vai ao encontro das preferências dos participantes para dispositivos portáteis com feedback sonoro e vibratório, além de ser inclusivo, pois não será necessário localizar o botão para acionar o semáforo.

4 METODOLOGIA

Neste Capítulo, apresenta-se o processo de planejamento do projeto, começando pela apresentação dos resultados obtidos por meio de uma pesquisa de campo, definição dos requisitos essenciais e a concepção do sistema destinado a atendê-los.

4.1 Pesquisa De Campo

Para uma melhor compreensão da perspectiva dos deficientes visuais em relação ao sistema atual de sinalização para pedestres e como desenvolver o dispositivo de forma a atender da melhor maneira possível às suas necessidades, foi utilizada a metodologia qualitativa, por meio de um questionário eletrônico com 12 perguntas (vide Apêndice A).

Essas questões foram compostas em perguntas no formato de múltipla escolha (podendo escolher apenas uma opção) e uma em formato aberto, podendo essa ser respondida de modo facultativo, uma vez que foi relatada uma dificuldade nos aplicativos de leitura de tela do celular em capturar esse formato.

O formulário foi desenvolvido online por meio da ferramenta Google Forms e o link foi divulgado em grupos do WhatsApp e Instagram dedicados aos deficientes visuais de todo o Brasil. Para responder ao questionário, os deficientes visuais utilizaram o software leitor de tela com o qual estão familiarizados em seu uso cotidiano.

A pesquisa explorou os desafios atuais enfrentados por deficientes visuais em relação à acessibilidade e locomoção nas travessias de rua e quais as expectativas dos mesmos em relação ao possível desenvolvimento de um dispositivo assistivo com essa função. O questionário (Apêndice A) ficou disponível de 04 de outubro a 08 de novembro de 2023, com ênfase em gerar uma amostragem qualitativa, mantendo a identidade dos participantes anônima.

4.1.1 Análise Dos Resultados da Pesquisa de Campo

Ao longo do período de disponibilidade do formulário, obteve-se um total de 31 respostas. Com base nos resultados (vide Apêndice B), a grande maioria das respostas (70%) foi dada por pessoas cegas (não enxergam), seguido de pessoas com deficiência visual leve (enxerga pouco) e deficiência visual severa/moderada (enxerga muito pouco) (Gráfico 1, Apêndice B).

Nas perguntas relacionadas ao modelo atual de sinalização para pedestres (sinaleiros, botões para acionamento do semáforo, faixa de pedestre etc.), ficou evidente que os deficientes visuais não se sentem seguros (83,3%) e nem conseguem acionar o semáforo de pedestre de

forma fácil (77,4%) (Gráfico 2 e 3, Apêndice B). Além disso, quase metade indicou que a maior dificuldade encontrada ao atravessar a rua é o receio de que os carros não parem (43,3%), seguido da dificuldade em identificar quando o semáforo está liberado para pedestres (23,3%) e em localizar o poste e o botão de acionamento do semáforo para pedestre (10%), além de diversas outras dificuldades indicadas, como mostra o Gráfico 4 do Apêndice B.

Já com relação as novas tecnologias assistivas instaladas nos semáforos, quando perguntados com relação aos semáforos sonoros, 87,1% responderam conhecer esse sistema e 71% indicaram já ter utilizado esse semáforo para atravessar a rua (Gráficos 5 e 6, Apêndice B). Quando comparado com os semáforos comuns, a imensa maioria (93,5%) indicou considerar esse novo semáforo sonoro mais eficiente (Gráfico 7, Apêndice B). No entanto, 73,3% ainda têm dificuldade em identificar/localizar esses semáforos sonoros (Gráfico 8, Apêndice B) e 55,2% indicaram que barulhos externos (carros, caminhões, ônibus etc.) atrapalham pouco na identificação do som vindo do semáforo sonoro (Gráfico 9, Apêndice B).

Por fim, visando entender as preferências desses usuários com base em suas experiências pessoais, nas perguntas relacionadas a características importantes para o desenvolvimento do dispositivo, a grande maioria respondeu preferir um dispositivo portátil (87,1%, Gráfico 10 do Apêndice B) com ambos os feedbacks (sonoro e vibratório) para o usuário (80,6%, Gráfico 11 do Apêndice B). Para a pergunta aberta, foram indicadas sugestões relevantes para funcionalidades do dispositivo e algumas serão apresentadas a seguir:

- *“Fazer com que o dispositivo de alguma forma indique onde tem um sinalizador mais próximo pra ficar mais fácil de identificar”*
- *“Creio que o dispositivo móvel seria muito melhor, mas temo pelo valor quando comparado àquele anexado ao poste”*
- *“Semáforo sonoro em TODAS AS RUAS”*
- *“Ele poderia ser um anel ou poderia ter a possibilidade de ser acoplado na parte superior das bengalas”*
- *“Quanto ao funcionamento, não tenho sugestões. Apenas acho importante ressaltar a necessidade de tais semáforos serem adaptados em maior quantidade. Ou seja, indo além do centro da cidade, por exemplo. Outro ponto é não se incluir voz em um sistema desses, pois seria impossível escutar com o trânsito pesado, além de ser mais demorado para ouvir e assimilar o que é dito, melhor realmente é um sinal alto como apitos contínuos, ou algo nesse sentido”*

Os resultados deste estudo destacam a importância de considerar as necessidades e preferências das pessoas com deficiência visual na melhoria da sinalização para pedestres. A

introdução de semáforos sonoros é vista de maneira positiva, mas ainda existem desafios a serem superados, como a identificação e localização desses dispositivos e sua pequena quantidade disponível nas cidades.

As preferências dos participantes para dispositivos portáteis (acoplados a bengala) com feedback sonoro e vibratório indicam uma direção promissora para o desenvolvimento do dispositivo proposto nesse projeto. Além disso, visando amenizar essa limitação na dificuldade de localizar o botão de acionamento, o conceito de ser acionado por proximidade foi levado em consideração.

4.2 Requisitos

Para alcançar os objetivos estabelecidos, foram estabelecidos os seguintes requisitos para este projeto.

Dispositivo portátil anexado a bengala:

- RF1: O sistema deve ser capaz de acionar o semáforo de pedestres somente quando o dispositivo estiver ligado (possuir botão liga/desliga).
- RF2: O sistema deve ser capaz de acionar o semáforo de pedestres com base na aproximação com relação ao poste, por meio de coordenadas de GPS e BLE, sem a necessidade de apertar qualquer botão de acionamento.
- RF3: A conexão entre os dispositivos só deve ocorrer quando a distância entre os mesmos for menor que 12 metros (dada pelo GPS).
- RF4: O sistema deve ser capaz de emitir um sinal de pareamento contínuo para o dispositivo anexado ao poste de modo automático, sem precisar de um pareamento Bluetooth manual.
- RF5: Quando o ciclo especial estiver ativado, o sistema deve incluir vibração constante de baixa intensidade quando o sinal de pedestre está aberto e deve aumentar a intensidade da vibração quando o semáforo de pedestre começa a piscar o LED vermelho.
- RF6: Quando o ciclo especial estiver ativado, o sistema deve manter a vibração do dispositivo durante todo o período de abertura e fechamento do sinal de pedestres.

- RF7: O sistema deve acionar uma vibração específica quando o semáforo de pedestre se tornar vermelho para passagem de pedestre, indicando o fim do ciclo.
- RF8: O sistema deve ser capaz de se desconectar do dispositivo de semáforo ao final do ciclo especial, conforme Figura 18.
- RF9: O sistema deve ser capaz de funcionar com bateria de LiPo de tamanho pequeno.

Protótipo Semáforo para Veículos:

- RF10: O semáforo para veículos e pedestres deve funcionar continuamente de acordo com a seguinte lógica:

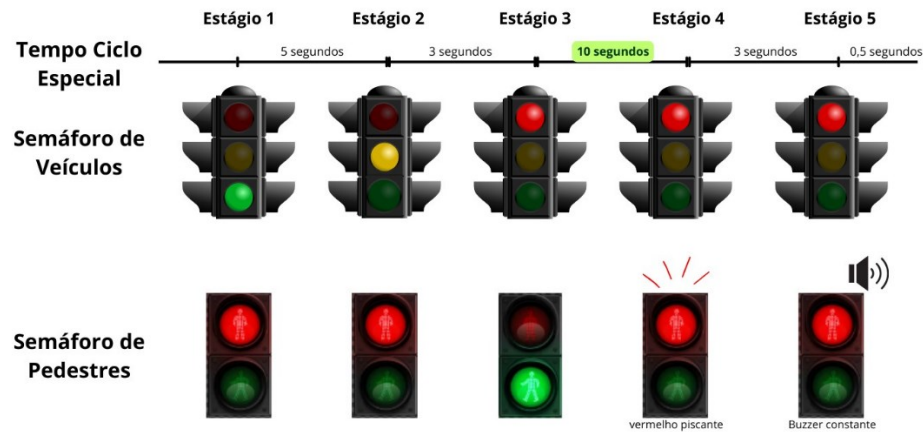
Figura 17: Lógica do semáforo (Ciclo normal)



Fonte: Autoria própria (2024)

- RF11: O dispositivo anexado ao poste deve ser capaz de reconhecer um sinal vindo do dispositivo anexado na bengala.
- RF12: Quando o dispositivo anexado ao poste parear com algum dispositivo anexado na bengala, deve alterar seu modo de operação para o ciclo especial, como mostrado abaixo.

Figura 18: Lógica do Semáforo (Ciclo Especial)



Fonte: Autoria própria (2024)

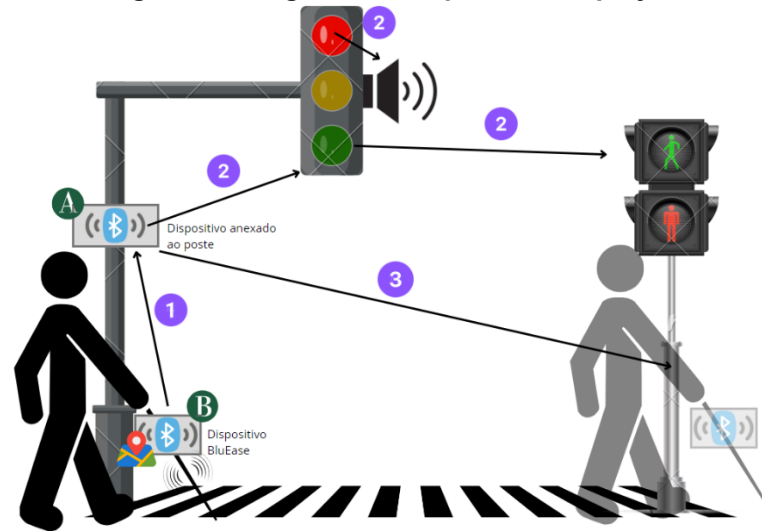
- RF13: Quando o ciclo especial estiver ativado, o sistema deve incluir um bip constante de baixa frequência quando o sinal de pedestre está aberto.
- RF14: Quando o ciclo especial estiver ativado, o sistema deve mandar um sinal para o dispositivo anexado na bengala para a mesma iniciar a vibração tanto no estágio 3, quanto no estágio 4.
- RF15: Quando o ciclo especial estiver ativado, o sistema deve aumentar a frequência do bip constante quando o semáforo de pedestre começa a piscar o LED vermelho.
- RF16: Quando o ciclo especial estiver ativado, o sistema deve manter o efeito sonoro do dispositivo durante todo o período de abertura e fechamento do sinal de pedestres.
- RF17: O sistema deve acionar um efeito sonoro específico indicando que o semáforo de pedestre se tornou vermelho para passagem de pedestre, representando o final do ciclo.
- RF18: O ciclo especial deve ser encerrado quando terminar o estágio 5 do semáforo, e voltar a funcionar de acordo com o ciclo normal no próximo estágio 1, caso não tenham outros dispositivos próximos, ou realizar nova conexão caso exista outra bengala e seguir no ciclo especial.

4.3 Arquitetura

Para atender às especificações estabelecidas, foi planejada a estrutura do sistema, levando em consideração os componentes e os mecanismos de comunicação entre eles. O

diagrama apresentado na Figura 19 ilustra o sistema em um nível contextual, destacando os componentes existentes e suas interações, cujos detalhes serão dados nessa Seção.

Figura 19: Diagrama da arquitetura do projeto



Fonte: Autoria própria (2024)

4.3.1 Conexões

1. Reconhecimento entre os dispositivos A e B

Como mencionado na Seção de referencial teórico, a necessidade de uma conexão sem fio próxima entre dispositivos (distância de algumas dezenas de metros apenas) e o fato dos dispositivos precisarem ter um baixo consumo de energia fez com que se optasse pela conexão via Bluetooth Low Energy (BLE), com proximidade por GPS. Sendo assim, o dispositivo B, como sendo um “Peripheral”, transmite constantes anúncios para o dispositivo A, cujo papel é “Central”, e faz o “Scanning” por intervalos definidos na programação.

Quando ocorre esse reconhecimento por parte do dispositivo A, um sinal é detectado no dispositivo e enviado para o dispositivo B.

2. Acionamento do ciclo especial

Ao receber esse sinal de reconhecimento, o dispositivo B realiza a verificação de distância entre ele e a coordenada do semáforo. Caso essa distância seja inferior à definida, a conexão é mantida e o dispositivo A deve enviar um sinal para uma saída serial de modo a iniciar o ciclo especial, indicado na Figura 18. Com isso, no próximo ciclo do semáforo, o semáforo de pedestres permanecerá livre por 5 segundos a mais e será ativado o efeito sonoro, conforme indicado nos requisitos RF13, RF15, RF16 e RF17.

Já o dispositivo B, ao receber esse sinal de reconhecimento, deve aguardar um sinal enviado pelo dispositivo A indicando que o semáforo para pedestre está liberado e, assim, ativar a vibração da bengala, conforme os requisitos RF5, RF6 e RF7.

3. Encerramento do ciclo especial

Ao final do ciclo especial, um sinal é enviado ao semáforo para cessar o sinal sonoro. Já para o dispositivo B, caso o mesmo ainda esteja próximo o suficiente para manter a conexão, será também emitido um sinal do dispositivo A indicando encerramento do ciclo especial.

4.3.2 Dispositivos

A. Dispositivo anexado ao poste

Com o intuito de se conectar com o dispositivo anexado na bengala (BluEase [B]), o dispositivo preso ao poste deve funcionar como um dispositivo “Central”, possuindo mais poder de processamento e memória. Como mencionado nos requisitos desse dispositivo, o mesmo deve ser capaz de receber sinais emitidos pelo dispositivo BluEase e, ao reconhecer esse dispositivo, alterar o modo de operação do semáforo, incluindo transmissão de sinal para o BluEase indicando pareamento e ativação de feedback sonoro, caso o mesmo se encontre dentro da distância estabelecida.

Com esses requisitos, o microcontrolador selecionado para desenvolver esse dispositivo foi o ESP32 (Figura 20). Desenvolvido pela empresa Espressif, o módulo ESP-WROOM-32, além do clássico módulo de comunicação Wi-Fi, apresenta um sistema com processador Dual Core, Bluetooth BLE e múltiplos sensores embarcados.

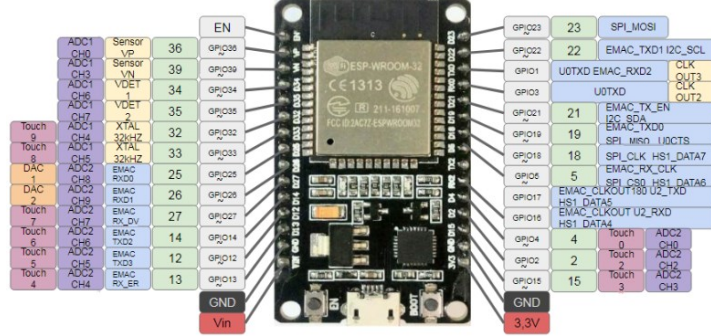
Figura 20: Modelo ESP-WROOM-32



Fonte: Espressif (2023, p. 1)

Essa escolha foi determinada pela acessibilidade de seu preço e pela adequação de suas funcionalidades aos objetivos do projeto. Analisando a pinagem de um ESP32, encontram-se 34 portas GPIO, 3 SPI, 2 I2S, 18 canais ADC, 3 UART, 10 pinos de leitura capacitiva e PWM, como mostra Figura 21.

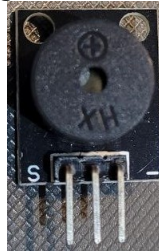
Figura 21: Pinagem ESP-WROOM-32



Fonte: CurtoCircuito (2023, p. 1)

Por fim, como mencionado nos requisitos RF13, RF15, RF16 e RF17, o dispositivo do semáforo deve possuir um sinal sonoro para sinalização de abertura e fechamento do sinal de pedestres. Para isso, utilizou-se de um *buzzer*, como da Figura 22, um pequeno alto-falante destinado a emitir sinais sonoros ao ser energizado por uma tensão recomendada de, aproximadamente, 5V.

Figura 22: Buzzer



Fonte: Autoria própria (2024)

B. BluEase (Dispositivo anexado à bengala)

O dispositivo anexado a bengala, em paridade com o dispositivo do semáforo (A), será um dispositivo “Peripheral”, uma vez que o mesmo deve ser capaz de enviar e receber dados durante a comunicação e, principalmente, aceitar conexões de dispositivos "Central" e interagir com eles. De acordo com os requisitos já mencionados, esse dispositivo deve ser portátil e, portanto, ter bateria de LiPo, emitir um sinal de pareamento contínuo para o dispositivo no poste, conter um módulo de GPS que indique sua posição instantânea e, ao ser reconhecido pelo dispositivo no poste dentro do alcance definido, conectar-se ao semáforo e proporcionar vibração ajustada à intensidade do sinal de pedestre.

Com esses requisitos, o dispositivo selecionado para esse desenvolvimento foi o kit de desenvolvimento da Heltec com Wireless tracker baseado no ESP32-S3FN8, como da Figura 23. Ele integra tanto o SX1262 quanto o UC6580 para fornecer uma solução GNSS rápida, podendo rastrear qualquer objeto e depois enviar esses dados sem fio por Wi-Fi, Bluetooth BLE e LoRa (HELTEC, 2024). Além disso, possui interface de bateria SH1.25-2 integrada, com

gerenciamento de carga e descarga, proteção contra sobrecarga, detecção de energia da bateria e comutação automática entre USB e energia da bateria, permitindo que o dispositivo seja alimentado por uma bateria e possa ser posteriormente carregado.

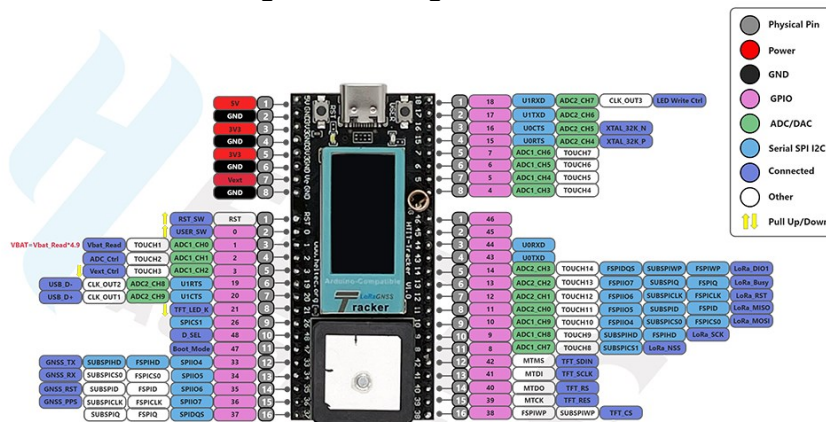
Figura 23: Kit Heltec



Fonte: HELTEC (2024, p. 1)

Analisando a pinagem desse kit de desenvolvimento, encontram-se pinos voltados para o GNSS e outros para o LoRa, conforme Figura 24. Essa pinagem foi utilizada para definir os pinos utilizados para recepção de sinais GNSS e fazer a comunicação com a bateria.

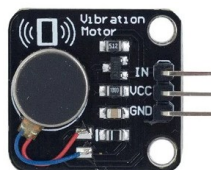
Figura 24: Pinagem Kit Heltec



Fonte: HELTEC (2024, p. 1)

Como mencionado nos requisitos RF5, RF6 e RF7, o dispositivo BluEase deve possuir um sinal tátil (vibração) para sinalização de abertura e fechamento do sinal de pedestres. Para isso, utilizou-se de um módulo de motor de vibração, como da Figura 25, com tensão de operação entre 3,7V e 5,3V.

Figura 25: Módulo Motor de Vibração



Fonte: Autoria própria (2024)

Por fim, para tornar o dispositivo portátil, ou seja, energizado por uma bateria, utilizar-se-á a conexão direta desse dispositivo com uma bateria de polímero de lítio recarregável, de 3,7V, 650mAh, que oferece uma combinação ideal de capacidade e tamanho compacto,

conforme Figura 26. Além disso, essa escolha se deu pela disponibilidade e pelo custo, juntamente com o fato de ser utilizada para realização de testes.

Figura 26: Bateria



Fonte: Autoria própria (2024)

4.3.3 Arquitetura dos dispositivos

O semáforo será desenvolvido de maneira didática e reduzida em um protótipo simples com LEDs e o buzzer, conectado a uma fonte de energia adequada para alimentar o microcontrolador (3,3 V). Esta escolha decorre do foco do projeto, que não se concentra na questão visual dos semáforos, uma vez que os LEDs de funcionamento não são relevantes para os usuários cegos.

Já o BluEase, foco principal desse projeto, também será desenvolvido como um protótipo físico. Integrará um microcontrolador alimentado por bateria, como mencionado na Seção 4.3.2, inserido em uma embalagem de material leve que não afeta significativamente a transferência e recepção do sinal Bluetooth e a recepção do sinal GNSS e da vibração, como policarbonato (Figura 27), com fitas de velcro nas extremidades para assegurar a fixação do protótipo na bengala. Esse modelo tem dimensões de 7,5 x 3,5 x 4,5 cm.

Figura 27: Embalagem BluEase



Fonte: Autoria própria (2024)

5 IMPLEMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

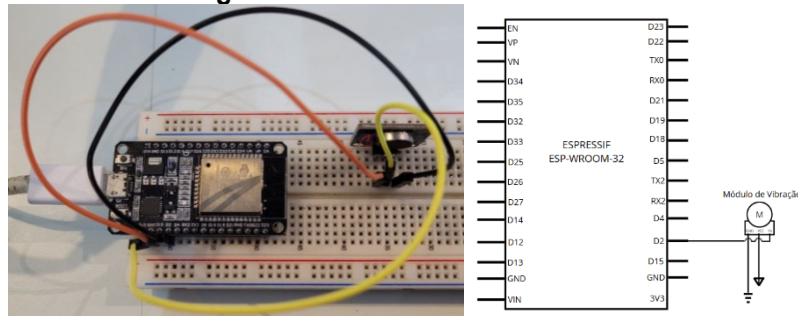
No presente Capítulo, serão detalhadas as etapas de desenvolvimento dos componentes do sistema e dos protótipos, delineando as decisões tomadas em consonância com os testes conduzidos ao longo do processo.

5.1 Intervalos De Conexão Via BLE

O desenvolvimento do projeto teve início com uma abordagem centrada na compreensão do funcionamento das conexões via *Bluetooth Low Energy*. Foi conduzida uma análise aprofundada dos protocolos de *scanning* e *advertising*, bem como dos procedimentos para estabelecer e encerrar conexões por meio de código.

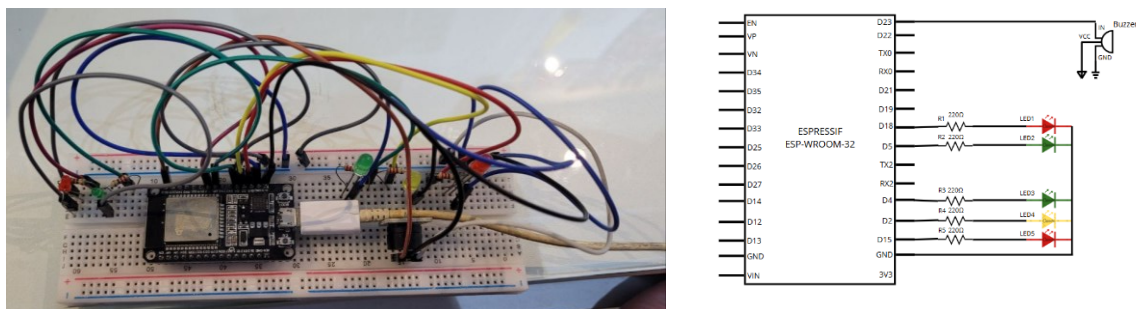
Os testes para o dispositivo central (semáforo) e periférico (bengala) se basearam, respectivamente, nos códigos exemplos do Arduino IDE para BLE Client e Server (KOLBAN, 2018) e adaptados para os fins desse projeto. Inicialmente, utilizou-se de dois módulos da Espressif como o apresentado na Seção 4.3.2, de acordo com os circuitos e as Figuras 28 e 29.

Figura 28: Circuito inicial BluEase



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 29: Circuito inicial Semáforo



Fonte: Autoria própria (2024)

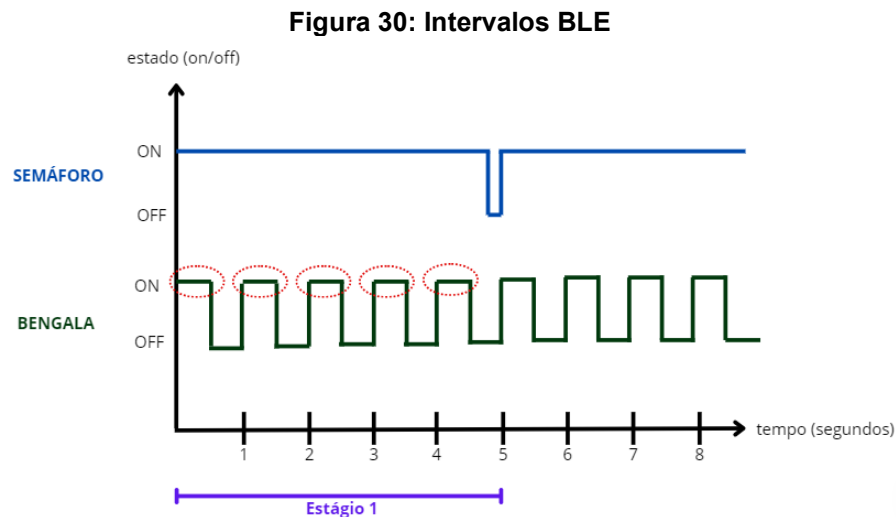
Ao final dos primeiros testes, foi possível realizar a conexão dos dois ESPs via BLE, de modo que, quando a bengala está próxima o suficiente para ser reconhecida pelo semáforo, ambos realizavam a conexão. O principal ponto de desenvolvimento nessa etapa, foi com

relação aos intervalos mais precisos para *scanning* e *advertising*, para garantir que o semáforo reconheça a bengala no momento mais adequado. Desse modo, o intervalo de transmissão deve ser igual ou menor que o intervalo de varredura, para permitir que os dispositivos sejam detectados com eficiência.

Sendo assim, a solução encontrada foi definir o momento de *scanning* do semáforo no estágio 1 (Figura 30), de modo a possuir um intervalo de varredura de 5 segundos (scanner BLE estará ativamente ouvindo anúncios de dispositivos) e intervalo entre varreduras consecutivas de 14 microssegundos. Como o *scanning* só ocorrerá no estágio 1 do semáforo, de duração de 5 segundos, o dispositivo do semáforo permanecerá buscando anúncios durante todo o estágio.

Já para o dispositivo da bengala, o processo de *advertising* ocorre até que seja encontrada uma conexão. O intervalo de transmissão foi definido como 500 milissegundos, o que significa que o *dutycycle* é de 50%. Essa escolha visa equilibrar o consumo de energia.

Os intervalos de transmissão e detecção, como mostra a Figura 30 abaixo, garantem que, dentro do intervalo de varredura, podem existir no mínimo 5 oportunidades de reconhecimento entre os dispositivos, desde que o dispositivo da bengala esteja ligado. Isso assegura que haverá uma conexão entre eles no momento desejado, proporcionando segurança.



Fonte: Autoria própria (2024)

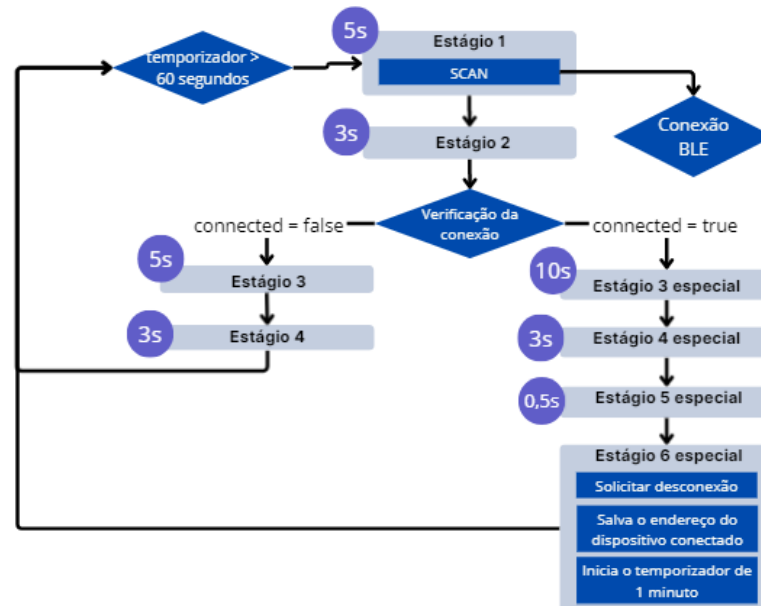
Outro ponto de desenvolvimento identificado refere-se ao requisito RF8 (O sistema deve ser capaz de desconectar-se do dispositivo de semáforo ao final do ciclo especial). Foi necessário compreender os intervalos de *scanning* e *advertising* para assegurar que, ao desconectar-se do semáforo no final do ciclo, a bengala não se reconectasse ao semáforo anterior, ao mesmo tempo em que não prejudicasse sua conexão com outros semáforos.

Por isso, a solução encontrada foi que o semáforo permitirá a conexão de cada BluEase apenas uma vez por minuto. Isso será controlado por uma memória auxiliar que armazena o

endereço MAC do último BluEase conectado por 1 minuto. Dessa forma, a bengala que se desconectar no ciclo anterior, somente terá a conexão aceita pelo semáforo após passados 60 segundos, conforme fluxograma parcial indicado na Figura 31 e que será explicado de forma mais detalhada na Seção 6.1.1. Essa solução não impedirá a conexão do BluEase com outros semáforos e nem a conexão do semáforo com outras bengalas, com respectivos endereços MAC.

Diante do contexto utilizado para esse projeto, o intervalo de 1 minuto definido visa garantir que o usuário, ao ainda estar no alcance do semáforo, não conecte novamente ao semáforo que acabou de atravessar, mas que permita que, após um intervalo curto de tempo, caso necessite voltar pelo mesmo trajeto, a conexão esteja liberada. Essa solução também evita que um usuário parado dentro do alcance do semáforo forme conexões repetidas em ciclos sucessivos, prevenindo a ativação desnecessária do ciclo especial e o uso indevido do sistema. Os parâmetros definidos para esse protótipo podem ser alterados conforme necessidade e contexto avaliados, permitindo, via programação, modificar o intervalo de tempo no qual o dispositivo pode se conectar.

Figura 31: Fluxograma identificação endereço MAC



Fonte: Autoria própria (2024)

Em suma, ao final dessa etapa de desenvolvimento, foi possível desenvolver um dispositivo de semáforo e um de bengala que seguem os requisitos estipulados na Seção 4.2. Porém, por meio de testes, verificou-se que o código não estava garantindo a precisão de proximidade da bengala, uma vez que o alcance do BLE pode chegar na casa da dezena de metro e a conexão, por vezes, poderia ser realizada quando a bengala estava ainda distante do

semáforo. Para isso, adicionou-se um módulo de GNSS ao projeto, como será explicado na próxima Seção.

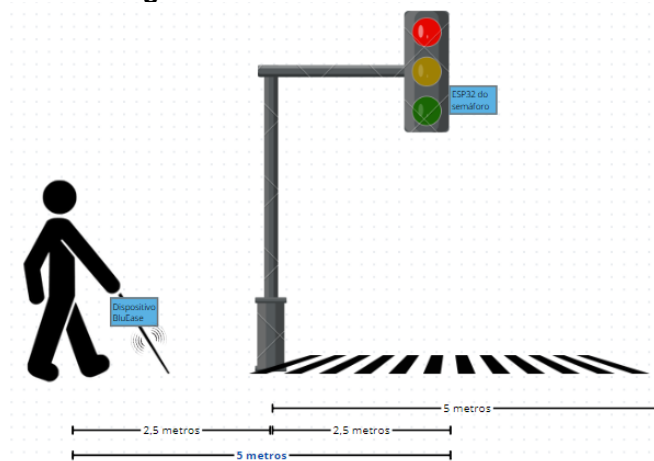
5.2 GNSS

Por meio dos testes, percebeu-se que as tecnologias wireless, como o Bluetooth LE, não garantiam a precisão necessária com relação a localização da bengala por meio do RSSI (Indicador de intensidade de sinal recebido). Por isso, a inserção de um módulo de GNSS foi a solução encontrada. A partir desse momento, decidiu-se trocar o módulo de desenvolvimento da Espressif por um kit de desenvolvimento da Heltec, como mencionado na Seção 4.3.2, que possui módulo UC6580 de GNSS já integrado.

Sendo assim, o semáforo, por ser fixo em um local, irá manter salva uma característica com sua posição geográfica, formada por *array* de bytes. Esse *array*, quando o semáforo encontrar um dispositivo, será enviado para essa bengala de modo que a mesma verifique sua distância.

Para fins práticos, considerando uma escala real urbana, como mostrado na Figura 32, uma distância razoável máxima que o pedestre pode estar para se encontrar próximo do fim da calçada seria em torno de 2,5 metros. Portanto, definiu-se que a distância máxima que pode ser dada entre os dispositivos está em um raio de 5 metros, não sendo relevante considerar a altura que o BluEase está com relação ao semáforo, como mostram os cálculos da Seção 2.4.1.4.

Figura 32: Escala urbana semáforo



Fonte: Autoria própria (2024)

Porém, como já mencionado na Seção 2.4.1.1, as coordenadas apresentadas pelos os módulos de GNSS podem sofrer imprecisões de cerca de 5 metros (GOMES, 2010). Para analisar as imprecisões do módulo GNSS em questão (UC6580), realizou-se uma comparação entre a posição real em que o GNSS se encontrava e as coordenadas apontadas pelo monitor

serial. A comparação foi feita utilizando o GNSS do kit de desenvolvimento (UC6580) e o GNSS do celular, para garantir a precisão da comparação, em uma área urbana sem muitos prédios ou árvores, como mostra a Figura 33.

Figura 33: Comparação da imprecisão do GPS

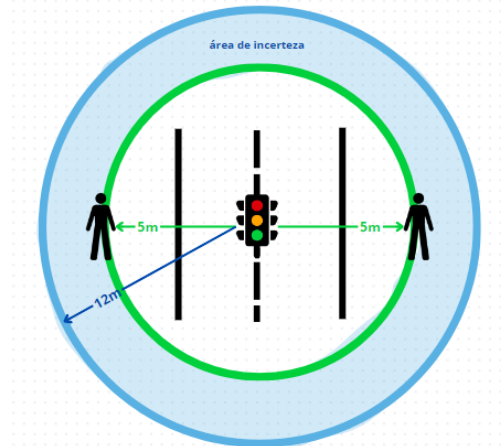


Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 33 acima mostra uma dentre 10 medições que foram realizadas para avaliar a imprecisão mencionada. Conforme demonstrado, tanto o GNSS do kit de desenvolvimento quanto o do celular apontaram para coordenadas geográficas muito próximas (indicadas de forma genérica em azul), porém, em diversos testes realizados em diferentes alturas da rua e em momentos aleatórios do dia, ambas apresentaram uma diferença de aproximadamente 7 metros em relação à coordenada real onde estavam posicionados (indicada em vermelho). Essa incerteza pode ser dada em função do sinal dos satélites viajar milhares de quilômetros até o receptor, passando pelo espaço e pela atmosfera, sofrendo atrasos que causam erros. Perto do receptor, o sinal pode refletir em objetos, causando erros de multipercurso. Outras fontes de erro incluem falhas do sistema, erros orbitais dos satélites e condições climáticas (RUSTAMOV, 2018).

Portanto, para garantir a interpretação precisa dos dados para a conexão, decidiu-se considerar essa imprecisão no raio máximo permitido. Como pode ser observado na Figura 34, que apresenta uma visão aérea da rua, a distância máxima foi ajustada para 12 metros. Assim, caso a distância encontrada seja igual ou inferior a 12 metros, será acionado o ciclo especial e seguir conforme requisitos já mencionados na Seção 4.2. Essa modificação não compromete o propósito do módulo GNSS dentro do escopo do projeto, que é garantir a proximidade da bengala para acionar o ciclo especial.

Figura 34: Distância máxima



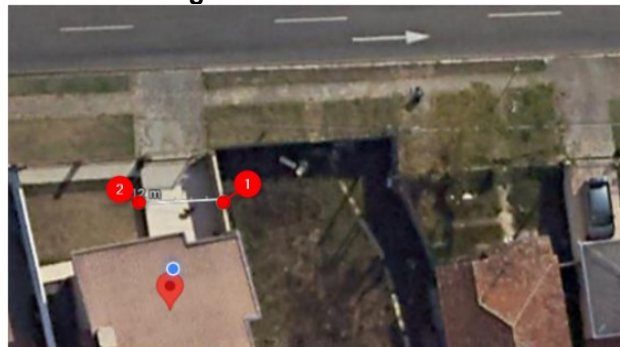
Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.1 Testes de distância entre dispositivos

Como forma de comprovar que a bengala só irá se conectar com uma distância igual ou inferior a 12 metros (como explicado na Seção 5.2), foram realizados testes em campo variando a distância da bengala.

Inicialmente, mediu-se um comprimento de cerca de 4 metros entre o semáforo (ponto 1) e a bengala (ponto 2), como mostrado na Figura 35. Com esse teste, visou-se posicionar a bengala em uma distância dentro da tolerância determinada para reconhecimento.

Figura 35: Teste GNSS 1



Fonte: Autoria própria (2024)

As coordenadas indicadas pelo Google Maps para ambos os pontos foram:

Quadro 4: Coordenadas teste 1

Ponto	Latitude	Longitude
1 (Semáforo)	-25,47594°	-49,30210°
2 (BluEase)	-25,47594°	-49,30215°

Fonte: Autoria própria (2024)

Já no primeiro ciclo, houve reconhecimento e conexão entre os dispositivos, possibilitando o acionamento do ciclo especial no semáforo. Para fins de comparação, foi

utilizado o monitor serial para analisar os valores reais das coordenadas obtidos pelo GNSS do BluEase para latitude e longitude, a distância calculada e o erro HDOP do GNSS (Figura 36).

Figura 36: Coordenadas GNSS - teste 1

```

Connected to client
Received data: 0.24
Latitude: -25.475941
Longitude: -49.302101
Distância: 4.37
2024-05-05 19:58:19.00
LAT -25.475951
LON -49.302142
ALT 0.000
HDP 0.6
SYS N #SAT 27
  
```

Fonte: Autoria própria (2024)

Analogamente, foi realizado um outro teste considerando um comprimento um pouco maior de cerca de 6 metros, como mostrado na Figura 37, visando entender o comportamento do BLE e do GNSS à medida que a bengala se afasta do semáforo.

Figura 37: Teste GNSS 2



Fonte: Autoria própria (2024)

As coordenadas indicadas pelo Google Maps para ambos os pontos foram:

Quadro 5: Coordenadas teste 2

Ponto	Latitude	Longitude
1 (Semáforo)	-25,47594°	-49,30210°
2 (BluEase)	-25,47598°	-49,30214°

Fonte: Autoria própria (2024)

Da mesma forma, ao ocorrer a conexão, utilizou-se do monitor serial para analisar os valores reais das coordenadas obtidos pelo GNSS do BluEase para latitude e longitude, a distância calculada e o erro HDOP do GNSS (Figura 38).

Figura 38: Coordenadas GNSS - teste 2

```

Connected to client
Received data: 0.24
Latitude: -25.475941
Longitude: -49.302101
Distância: 10.94
2024-05-05 19:58:19.00
LAT   -25.475990
LON   -49.302184
ALT    0.000
HDP    1.5
SYS N #SAT 13

```

Fonte: Autoria própria (2024)

A partir desse ponto, quando se aumentou o comprimento em mais um metro (distância entre dispositivos de cerca de 7 metros), a conexão BLE ficou afetada, fazendo com que o semáforo não reconhecesse o BluEase no momento do scan e, portanto, seguisse no ciclo normal de operação.

Para fins de comprovação, realizou-se um último teste com ambos os dispositivos estando em ambiente interno, o que impede a localização via GNSS por não reconhecimento de satélites. As coordenadas indicadas pelo módulo GNSS são sempre nulas nesse caso e, com isso, visou-se comprovar que os dispositivos se desconectam ao calcular um raio superior a 12 metros, conforme a Figura 39.

Figura 39: Teste desconexão

```

0000-00-00 99:99:99.00
LAT   0.000000
LON   0.000000
ALT    0.000
HDP   25.5
NMEA invalid.

Received data: 0.24
Latitude: -25.475941
Longitude: -49.302101
Distância: 6166630.00
Disconnecting from client
Disconnected from client

```

Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.2 Testes com protótipo finalizado

Para avaliar a influência do gabinete na recepção dos sinais de GNSS e entender o comportamento do protótipo em um ambiente urbano, simulando de maneira realista a experiência de um deficiente visual, foi realizado um teste com o protótipo finalizado (Figura 49).

Analogamente aos testes realizados na Seção 5.2.1, inicialmente, mediu-se um comprimento de cerca de 2 metros entre o semáforo (ponto 1) e a bengala (ponto 2), como mostrado na Figura 40.

Figura 40: Teste 1 GNSS com protótipo finalizado



Fonte: Autoria própria (2024)

Houve reconhecimento e conexão entre os dispositivos no primeiro ciclo e foi utilizado o monitor serial para analisar os valores reais das coordenadas obtidos pelo GNSS do BluEase para latitude e longitude, a distância calculada e o erro HDOP do GNSS (Figura 41).

Figura 41: Coordenadas - teste 1 GNSS com protótipo finalizado

```

Connected to client
Received data: 0.24
Latitude: -25.475788
Longitude: -49.302307
Distância: 7.71
2024-05-25 18:59:22.00
LAT -25.475813
LON -49.302371
ALT 0.000
HDP 0.8
SYS N #SAT 20

```

Fonte: Autoria própria (2024)

Analogamente, foi realizado um outro teste considerando um comprimento um pouco maior de cerca de 4 metros, como mostrado na Figura 42.

Figura 42: Teste 2 GNSS com protótipo finalizado



Fonte: Autoria própria (2024)

Da mesma forma, ao ocorrer a conexão, utilizou-se do monitor serial para analisar as coordenadas do GNSS, a distância calculada e o erro HDOP do GNSS (Figura 43).

Figura 43: Coordenadas - teste 2 GNSS com protótipo finalizado

```

Connected to client
Received data: 0.24
Latitude: -25.475788
Longitude: -49.302307
Distância: 9.77
2024-05-25 19:04:33.00
LAT -25.475825
LON -49.302391
ALT 0.000
HDP 0.9
SYS N #SAT 18

```

Fonte: Autoria própria (2024)

Em um último teste, visou-se analisar o comportamento do BluEase quando localizado a uma distância considerável do semáforo, posicionando-os a uma distância de cerca de 11 metros entre si. Após 3 minutos nessa posição, não houve conexão e, conseqüentemente, acionamento do ciclo especial, em função do alcance do BLE não ser suficiente para reconhecer os dispositivos, conforme indica a Figura 44.

Figura 44: Teste 3 GNSS com protótipo finalizado

1° minuto	2° minuto	3° minuto
2024-05-25 19:06:32.00	2024-05-25 19:07:43.00	2024-05-25 19:08:24.00
LAT -25.475805	LAT -25.475805	LAT -25.475807
LON -49.302431	LON -49.302432	LON -49.302430
ALT 0.000	ALT 0.000	ALT 0.000
HDP 0.5	HDP 0.7	HDP 0.5
SYS N #SAT 27	SYS N #SAT 24	SYS N #SAT 25

Fonte: Autoria própria (2024)

5.3 Bateria

Ao considerar no escopo do projeto o dispositivo BluEase como portátil, foi necessário desenvolver um modelo que pudesse ser alimentado por bateria. Com a transição para o kit de desenvolvimento da Heltec, essa funcionalidade já está integrada, como mencionado na Seção 4.3.2. Portanto, para energizar esse kit foi utilizada uma bateria de polímero de lítio recarregável, de 3,7 V, 650 mAh.

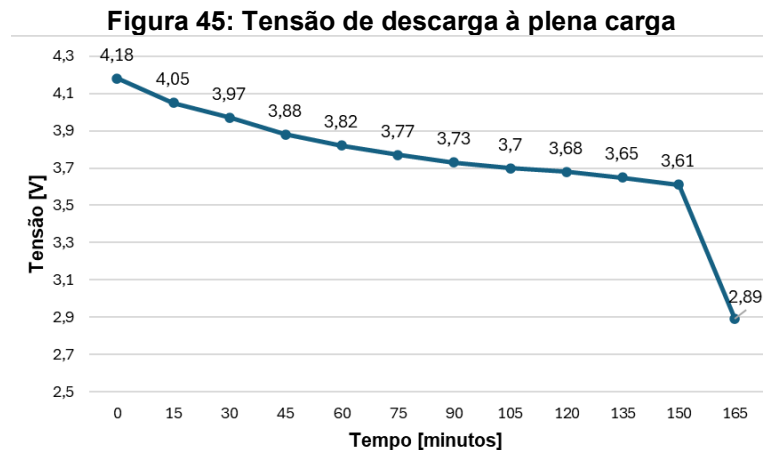
Para validar uma estimativa de tempo de consumo do dispositivo BluEase, realizou-se simulações de modo a conferir a variação da tensão da bateria ao longo do seu período de descarga, por meio de um multímetro para medir a tensão nos terminais da bateria a cada 15 minutos.

Assim, a bateria foi carregada de forma completa e submetida a testes com o dispositivo BluEase funcionando em estados diferentes para analisar o consumo da bateria ao

longo do tempo. Da mesma forma, foram feitos dois testes de carregamento completo da bateria. Os detalhes e resultados obtidos nos testes mencionados podem ser encontrados nas seções abaixo.

5.3.1 Estimativa de tempo de consumo – Descarga à plena carga

O primeiro teste teve como objetivo compreender o consumo de bateria em carga máxima, ou seja, com o BluEase operando com todas as funções habilitadas, analisando o pior cenário, onde a bengala se conecta a cada 1 minuto. Assim, mediu-se a tensão nos terminais da bateria a cada 15 minutos. A Figura 45 apresenta o gráfico com os valores medidos para a tensão, apresentando uma duração de cerca de duas horas e meia, suficiente para fins de prototipação.

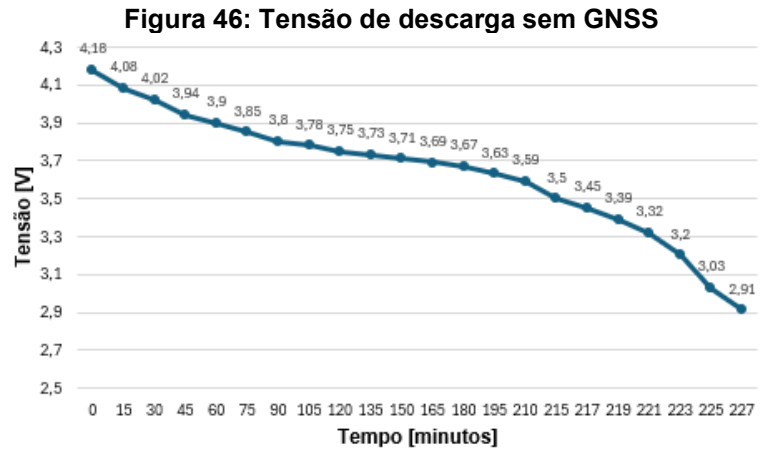


Fonte: Autoria própria (2024)

5.3.2 Estimativa de tempo de consumo – Descarga sem GNSS

Em seguida, realizou-se um segundo teste com o BluEase com sua função de GNSS desabilitada (não lendo as coordenadas geográficas a cada segundo), visando compreender a influência do GNSS no consumo de bateria, como mostra o gráfico a seguir (Figura 46). Como no teste de descarga anterior houve uma variação muito abrupta na bateria a partir de um valor de tensão próximo de 3,6V, decidiu-se ampliar a frequência de medição a partir dessa tensão, realizando a medição a cada 2 minutos.

Com esse teste, encontrou-se um aumento de cerca de um hora na duração da bateria, o que comprova que o GNSS tem grande influência no consumo geral de carga.



Fonte: Autoria própria (2024)

5.3.3 Estimativa de tempo de consumo – Descarga das funções BLE

Por fim, realizou-se um último teste somente com as funções BLE do BluEase habilitadas, ou seja, somente o *advertising*, sem realizar conexão, e, em seguida, somente no momento da conexão, para entender o real consumo individual das funções de Bluetooth. A Quadro 6 a seguir contém os resultados do teste feito somente com o *advertising*. Ao final do teste, como não foi utilizado um equipamento de medição específico e preciso, é importante ressaltar que os resultados podem conter incertezas e são apresentados de forma superficial, comprovando que o *advertising* consome uma quantidade considerável da bateria por minuto.

Quadro 6: Descarga Advertising BLE

Minutos	Tensão [V]	Porcentagem
0	4,16	98,31%
1	4,14	96,61%
2	4,13	95,76%
3	4,12	94,92%
4	4,11	94,07%
5	4,11	94,07%
6	4,10	93,22%
7	4,09	92,37%
8	4,09	92,37%
9	4,08	91,53%
10	4,08	91,53%

Fonte: Autoria própria (2024)

Analogamente, a Quadro 7 abaixo contém os resultados do teste feito somente no momento da conexão.

Quadro 7: Descarga na conexão BLE

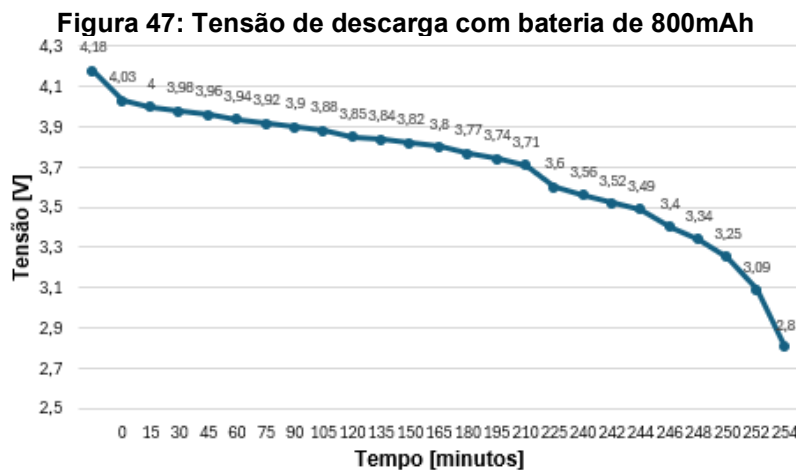
Segundos	Tensão [V]	Porcentagem
Início da conexão	4,02	86,44%

	Segundos	Tensão [V]	Porcentagem
Fim da conexão	21	4,01	85,59%
	98	<i>Advertising</i>	
Início da conexão	103	4,01	85,59%
Fim da conexão	124	4,00	84,75%
	222	<i>Advertising</i>	
Início da conexão	227	3,99	83,90%
Fim da conexão	248	3,98	83,05%
	346	<i>Advertising</i>	
Início da conexão	351	3,98	83,05%
Fim da conexão	372	3,98	83,05%

Fonte: Autoria própria (2024)

5.3.4 Estimativa de tempo de consumo – Descarga à plena carga com bateria de 800 mAh

Com o intuito de verificar o quanto o aumento da capacidade da bateria afeta o tempo de vida, realizou-se mais um teste de consumo do BluEase com todas as funções habilitadas, como na Seção 5.3.1, porém, nesse caso, sendo alimentado por uma bateria de 800 mAh (150 mAh a mais que a anterior). Da mesma forma, o gráfico abaixo apresenta os valores de tensão obtidos ao longo da descarga (Figura 47).



Fonte: Autoria própria (2024)

5.3.5 Estimativa de tempo de carregamento

Além dos testes de descarga, foram realizados dois testes de carregamento, no qual foram feitas medições da tensão da bateria de 650mAh a cada 30 minutos e aumentada a frequência de medição quando a tensão se encontrou muito próxima da máxima, a fim de entender o comportamento de carga da bateria. O teste foi realizado com o BluEase longe de qualquer semáforo, de modo a simular um carregamento completo de carga sem que o mesmo

estivesse em funcionamento. Dessa forma, a Quadro 8 a seguir mostra o carregamento da bateria. Os resultados mostram um carregamento completo em cerca de uma hora e meia, o que é um tempo esperado e satisfatório, quando comparado com o carregamento de outros equipamentos como celulares.

Quadro 8: Teste de carregamento da bateria

Período [minutos]	Tensão [V] (MED. 01)	Porcentagem (MED. 01)	Tensão [V] (MED. 02)	Porcentagem (MED. 02)
0	2,72	0%	2,71	0%
30	3,89	75,42%	3,99	83,90%
40	3,94	79,66%	4,04	88,14%
50	4,03	87,29%	4,06	89,83%
60	4,13	95,76%	4,13	95,76%
70	4,17	99,15%	4,15	97,46%
71	4,17	99,15%	4,15	97,46%
72	4,17	99,15%	4,15	97,46%
73	4,17	99,15%	4,15	97,46%
74	4,17	99,15%	4,15	97,46%
75	4,18	100,00%	4,16	98,31%
76			4,16	98,31%
77			4,17	99,15%
78			4,17	99,15%
79			4,17	99,15%
80			4,18	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024)

5.4 Modo BLE Conectado

Levando em consideração os requisitos técnicos e funcionais estabelecidos para ambos os dispositivos, optou-se por desenvolver os dispositivos utilizando a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) em modo de operação com conexão, configurando um dispositivo central (semáforo) e outro periférico (BluEase), como mencionado na Seção 4.3.2.

Uma das principais razões para essa escolha reside no fato de que o semáforo requer a detecção da presença de um dispositivo BLE (BluEase) próximo para modificar seu modo de operação para o ciclo especial e, quando isso acontecer, enviar informações sobre seu estado para o BluEase ter um feedback tátil (vibração). A configuração do semáforo como dispositivo central (client) e da bengala como periférico (server) permite essa troca de informações em ambas as direções, algo que o modo Broadcast não oferece, pois é unidirecional, como detalhado na Seção 2.3.6.1.

Uma das limitações encontradas foi no quesito de multiconexões. Embora o modo conectado seja essencial para garantir o reconhecimento do BluEase pelo semáforo, ele apresentou restrições no software, permitindo apenas uma conexão. Isso porque o protocolo de conexão foi definido para ocorrer com um dispositivo específico criado, não sendo possível alterar essa função para uma lista de dispositivos. Essa barreira poderia ser superada pelo modo Broadcast, que permite a transmissão de um único pacote de publicidade para todos os dispositivos próximos.

Com isso, avaliou-se a possibilidade de um modelo híbrido para o BLE, no qual o mesmo dispositivo pode atuar, simultaneamente, com dois protocolos BLE. No contexto desse projeto, realizou-se o teste com o dispositivo do semáforo tendo um protocolo de Client e Broadcast, enquanto o BluEase foi configurado como um Server, mas também atuará simultaneamente como Observer.

Esse modelo funcionou de forma satisfatória para o semáforo, permitindo que o mesmo se conectasse com o BluEase mais próximo e, além de enviar informações para esse dispositivo em questão, ao mesmo tempo realizar o broadcast dessa informação para os demais dispositivos. Porém, para o BluEase, não foi possível inserir as funções de advertising (relacionado ao Server) e scan (relacionado ao Observer) para operarem simultaneamente, pois o mesmo permanecia realizando o advertising somente até que ocorresse uma conexão. Além disso, ao avaliar o BluEase somente operando como Observer, notou-se que esse modo de operação não garante confiabilidade na recepção dos anúncios vindo do semáforo, pois o BluEase pode não ser capaz de garantir a execução do scan no momento exato em que o cliente realiza o broadcast único da característica. Essa imprecisão no recebimento do sinal representa um ponto de vulnerabilidade significativo: a incapacidade do usuário cego de determinar, com segurança, o momento exato para atravessar a rua.

Portanto, para garantir a segurança do dispositivo, optou-se por manter o modo conectado previamente mencionado, com uma definição de prioridade de conexão no software do semáforo. Isso assegura que o BluEase mais próximo reconhecido estabeleça uma conexão e execute um ciclo especial, seguindo a limitação de repetibilidade de conexões conforme mencionado na Seção 5.1. A inclusão de feedback sonoro no ciclo especial permite que outros usuários com deficiência visual nas proximidades possam acompanhar os alertas auditivos, atravessando a rua de forma mais segura e autônoma.

Além disso, esse sinal sonoro também foi desenvolvido como uma forma de garantir a confiabilidade do sistema em casos nos quais a bengala apresente alguma falha. Por exemplo,

em casos nos quais a conexão for estabelecida e, no meio da travessia, for interrompida, o semáforo continuará no ciclo especial, devido a variável armazenada no microcontrolador, mantendo o sinal sonoro ativo e um intervalo maior de tempo para travessia do pedestre. Portanto, apesar de a bengala, por não estar mais conectada, cessar a vibração, o deficiente visual poderá seguir a indicação sonora para terminar a travessia.

Nesse quesito, portanto, como ponto de melhoria futura, sugere-se aprofundar no modelo híbrido mencionado para entender melhor os protocolos do BLE e a forma como ocorrem as multiconexões no modo conectado, uma vez que o foco desse projeto era avaliar o conceito de utilizar o BLE para interagir de forma automática com outro dispositivo. Isso permitirá verificar a possibilidade de adaptar o dispositivo desenvolvido para suportar mais de um dispositivo conectado por ciclo especial.

6 RESULTADOS

Neste Capítulo, apresenta-se o sistema desenvolvido como produto deste projeto. As diferentes seções abordarão cada módulo do sistema, exibindo os resultados dos testes conduzidos e discutindo potenciais futuros avanços.

6.1 Protótipos

Considerando o escopo do projeto e o objetivo de apresentar um protótipo funcional, a validação foi feita conforme mencionado na Seção 4.3.3, com placas de desenvolvimento e gabinetes para ambos os dispositivos, utilizando recursos disponíveis no momento do desenvolvimento. Diante dos testes apresentados, ambos os protótipos se mostraram funcionais e eficientes, indicando que o módulo de vibração possui uma intensidade suficiente para ser perceptível e o botão de liga/desliga cumpre sua função de forma satisfatória.

É relevante ressaltar que esse produto foi desenvolvido levando em consideração os resultados obtidos na pesquisa de campo apresentada na Seção 4.1.1 e foi possível atingir, de forma satisfatória, grande parte das necessidades e sugestões dos usuários. De acordo com a pesquisa, por exemplo, os usuários indicaram preferência por dispositivos portáteis e com feedback tanto sonoro quanto tátil, pontos que foram incluídos no desenvolvimento do protótipo. Além disso, a dificuldade enfrentada em identificar quando o semáforo está aberto e localizar o poste/botão de acionamento foram ambas sanadas, respectivamente, com a vibração da bengala e com a conexão automática via BLE e GNSS. Por fim, uma das sugestões fornecidas foi permitir que o dispositivo seja acoplado à bengala, também incluída no protótipo final (Figura 49). A versão final de ambos os dispositivos pode ser vista nas Figuras 48 e 50.

Figura 48: Protótipo semáforo



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 49: Protótipo BluEase



Fonte: Aatoria própria (2024)

Figura 50: Protótipo BluEase acoplado à bengala



Fonte: Aatoria própria (2024)

Apesar de o BluEase não ter afetado o movimento e a sensibilidade da bengala, como potencial de melhoria, é sugerida a criação de uma placa de circuito impresso para o BluEase que utilize componentes com dimensões reduzidas, além de um gabinete especificamente desenhado para acondicionar seus componentes.

Além disso, como uma perspectiva de pesquisa futura, está a realização de um estudo adicional para avaliar a compatibilidade deste sistema desenvolvido como protótipo com os semáforos já estabelecidos nas áreas urbanas, a fim de compreender e potencialmente implementá-los nas cidades.

6.1.1 Funcionamento

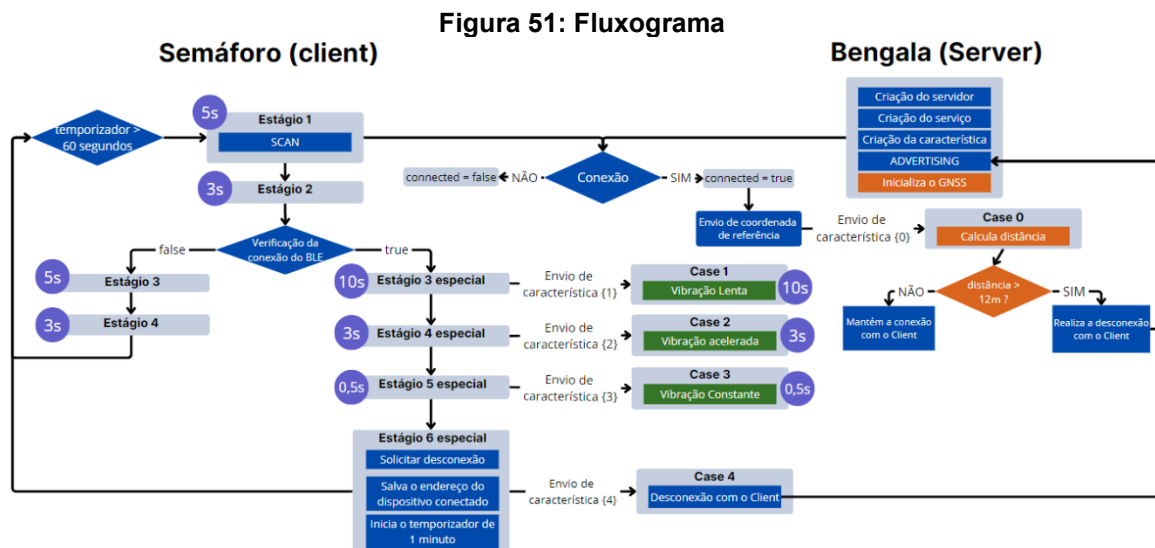
O funcionamento geral de ambos os dispositivos pode ser verificado na Figura 51. O fluxograma está separado em 3 seções (semáforo, conexão BLE e bengala), cujas ações ocorrem de forma simultânea ao longo do software.

Em relação ao semáforo, é possível observar que, como mencionado na Seção 5.1, o *scan* é realizado somente no estágio 1. Caso ele reconheça os dispositivos determinados (com característica e serviço correspondente), ele realizará a conexão somente caso o endereço MAC não tenha feito a conexão nos últimos 60 segundos, como pode ser visto na parte do fluxograma sobre “Conexão BLE”. Simultaneamente, após a conexão, o semáforo envia uma característica

para a bengala contendo sua posição geográfica, por meio de um *array* de *bytes*, cuja posição 0 contém o valor 0 (para que a bengala entre no case correspondente) e, nas outras posições, a latitude e longitude correspondentes.

Com base na posição geográfica dada pelo GNSS e a referência fornecida, o software da bengala calcula a distância entre essas posições. Se a mesma for superior a 12 metros, a conexão é encerrada, a bengala volta a realizar o *advertising* e o semáforo segue o fluxo nos estágios normais de operação.

Caso contrário, a conexão é mantida, a memória “*Connected*” leva o fluxo para o ciclo especial no semáforo, que envia características específicas em cada estágio para que a bengala reconheça o momento do ciclo em que ela se encontra. Sendo assim, caso o *array* enviado tenha valor 1, a bengala vibra com uma frequência lenta; caso seja 2, aumenta a frequência da vibração indicando o estágio 4; caso seja 3, emite uma frequência contínua para indicar fechamento do semáforo; e, por fim, caso seja 4, a bengala solicita a desconexão e o semáforo salva a memória com o endereço MAC desse BluEase em questão, iniciando o temporizador de 1 minuto para resetar essa memória, como explicado na Seção 5.1.



Fonte: Autoria própria (2024)

6.1.2 Teste de funcionamento

De modo a verificar o funcionamento adequado e seguro do dispositivo, foi realizado um teste simulando, de maneira realista, a experiência de um deficiente visual. Assim, o BluEase foi acoplado à bengala e utilizado para atravessar uma rua fictícia delimitada em uma calçada, simulando um ambiente urbano, conforme ilustrado na Figura 52.

Figura 52: Teste de funcionamento BluEase



Fonte: Autoria própria (2024)

Ao simular a espera do acionamento do semáforo na beira da calçada (cerca de 2,5 metros do semáforo), a conexão foi estabelecida normalmente e o ciclo especial acionado de forma adequada, fornecendo feedback sonoro e, também, enviando características, via BLE, para a bengala realizar a vibração durante os estágios respectivos, como mostra a captura de tela feita do monitor serial do semáforo (Figura 53), permitindo atravessar a rua de forma segura.

Figura 53: Monitor serial teste de funcionamento

```

BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 10:11:80:00:00:00, manufacturer data: 000001092002913fd4cf1324b7b2ca4c388f21085b9a643a74f0a47064, rssi: -60
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 48:27:e2:e1:eb:41, serviceUUID: 4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b, rssi: -86
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 18:4f:b3:08:58:ab, manufacturer data: 060001092002913fd4cf1324b7b2ca4c388f21085b9a643a74f0a47064, rssi: -78
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 58:ee:bl:25:c8:fb, serviceUUID: 0000fef3-0000-1000-8000-00805f9b34fb, rssi: -90
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 56:af:62:ec:83:c0, serviceUUID: 0000fd5a-0000-1000-8000-00805f9b34fb, rssi: -10, serviceData: 000051D0D0D1D

Forming a connection to 48:27:e2:e1:eb:41
- Created client
- Connected to server
- Found our service
- Found our characteristic
The characteristic value was: Hello World says Neil

We are now connected to the BLE Server.
Enviar dados do GNSS
Sent GPS data
Sent data to server to blink LED.
Sent data to server to blink LED rapidly.
Sent data to server to keep LED on for a period of time.
Sent data to server to Force disconnection.
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 18:4f:b3:08:58:ab, manufacturer data: 060001092002913fd4cf1324b7b2ca4c388f21085b9a643a74f0a47064, rssi: -64
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 58:ee:bl:25:c8:fb, serviceUUID: 0000fef3-0000-1000-8000-00805f9b34fb, rssi: -93
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 48:27:e2:e1:eb:41, serviceUUID: 4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b, rssi: -98
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 18:4f:b3:08:58:ab, manufacturer data: 060001092002913fd4cf1324b7b2ca4c388f21085b9a643a74f0a47064, rssi: -66
BLE Advertisised Device found: Name: , Address: 58:ee:bl:25:c8:fb, serviceUUID: 0000fef3-0000-1000-8000-00805f9b34fb, rssi: -97
onDisconnect
Forming a connection to 48:27:e2:e1:eb:41
Dispositivo já foi conectado anteriormenteWe have failed to connect to the server: there is nothin more we will do.
  
```

Fonte: Autoria própria (2024)

Ao finalizar a travessia, a bengala ainda se encontrava próxima o suficiente do semáforo para ser reconhecida pelo BLE, no entanto, a conexão não foi estabelecida novamente, como indicado na Figura 53, em função do limite de uma conexão por minuto para cada endereço de bengala, como definido na Seção 5.1. Com isso, comprovou-se que essa funcionalidade adicionada ao protótipo garante que o usuário, ao ainda estar no alcance do BLE,

não consiga se conectar novamente ao semáforo que acabou de atravessar, mas permite que, após um intervalo curto de tempo, caso necessite voltar pelo mesmo trajeto, a conexão esteja liberada.

Com esse teste, foi possível comprovar que o dispositivo BluEase funciona dentro dos requisitos especificados, garantindo segurança e independência ao deficiente visual. O dispositivo permitiu que o usuário identificasse o momento correto de atravessar a rua, cumprindo, assim, o principal objetivo do projeto.

6.2 Utilização De GNSS

Como indicado na Seção 5.2.1, foram realizados testes para validação do GNSS como uma forma de garantir a proximidade da bengala. Primeiramente, com relação a precisão do módulo GNSS, apesar de existir a variação na medição mencionada na Seção 5.2, as medições fornecidas ao longo dos testes estão dentro da tolerância esperada, divergindo com relação a posição real somente a partir da 5ª casa decimal, como pôde ser observado comparando o valor da latitude ($-25,47594^\circ$) e longitude ($-49,30215^\circ$) fornecidos pelo Google Maps (Quadro 4) e o valor observado no monitor serial ($-25,475951^\circ$, $-49,302142^\circ$), na Figura 36. Os demais testes (Quadro 5 e Figura 38) forneceram resultados semelhantes. Para ter um parâmetro de qualidade do sinal, utilizou-se como referência os valores de HDOP encontrados. Em todos os testes, os valores encontrados ficaram abaixo de 2 (Figuras 36 e 38), o que indica medições com nível de confiança elevado ou medições precisas (Quadro 2). Com isso, para melhoria da precisão do módulo de GNSS, sugere-se a utilização de antenas de maior qualidade, aumentando a relação sinal ruído do sinal recebido, e conseqüentemente melhorando a precisão.

Com relação ao cálculo da distância por meio das coordenadas recebidas, em função da incerteza já mencionada, foram encontradas algumas divergências entre o valor medido fisicamente entre os dispositivos e o valor calculado pelo microcontrolador. Apesar da divergência ser pequena no primeiro teste (valor medido de 4 metros e valor calculado de 4,37 metros), no segundo teste essa diferença se mostrou mais significativa, com um valor medido de 6 metros (Figura 37) e valor calculado de 10,94 metros (Figura 38). Porém, como esperado, essa divergência foi corretamente compensada pela medida de contenção de aumento do raio de tolerância de cálculo para 12 metros, fazendo com que o software garanta a conexão dos dispositivos sempre a distâncias próximas (cerca de 6 metros).

Como mencionado na Seção 5.2.1, para distâncias reais superiores a 7 metros, o BluEase começou a sofrer limitações do BLE. Apesar de o fornecedor indicar que o BLE tem

alcance de cerca de 10 metros (HELTEC, 2024), fatores como condições ambientais, obstáculos físicos, interferência magnética e outros fizeram com que, na prática, essa distância se limitasse a 7 metros. Para fins desse projeto, no entanto, esse alcance é suficiente, pois, como mostrado na Figura 32, uma distância razoável máxima que o pedestre pode estar para se encontrar próximo do fim da calçada seria em torno de 2,5 metros, somando uma distância máxima entre dispositivos de cerca de 5 metros. Para aplicações futuras em ambientes urbanos com escalas de distância maiores, porém, é sugerida a utilização de outra tecnologia de comunicação sem fio, como o LoRa, que permita conexões de longo alcance.

Porém, mesmo com essa limitação na distância, foi possível demonstrar que o software desenvolvido garante a desconexão entre os dispositivos caso a distância calculada seja superior a 12 metros, conforme a Figura 39.

Após a finalização do protótipo, decidiu-se realizar os mesmos testes mencionados acima, porém com o intuito de entender a influência do gabinete na recepção dos sinais do GNSS (Seção 5.2.2). Os resultados obtidos para as coordenadas apresentaram condições semelhantes aos casos anteriores, divergindo com relação a posição real somente a partir da 5ª casa decimal, como pode ser visto nas Figuras 40, 41, 42 e 43. Além disso, os erros de HDOP também se mantiveram abaixo de 1, o que indica máxima precisão possível em todos os momentos (Quadro 2). Com isso, é possível concluir que o gabinete não afeta a recepção dos sinais de GNSS e nem o alcance do BLE, garantindo o correto funcionamento do dispositivo.

No entanto, o cálculo de distância continuou encontrando divergências em relação ao valor medido fisicamente entre os dispositivos. Ao realizar o teste com uma distância de 2 metros, o valor calculado pelo BluEase foi de 7,71 metros (Figura 41), enquanto para a distância de 4 metros, o cálculo foi de 9,77 metros (Figura 43). Porém, como mencionado na Seção 5.2, a fonte dessa incerteza na coordenada geográfica pode ser diversa, desde a condição climática no dia da realização do teste, até obstáculos próximos, como edifícios.

Portanto, o principal ponto de melhoria destacado é em relação à geolocalização. O fato de ser necessário estar a céu aberto para possibilitar a inicialização do módulo e o tempo razoavelmente elevado (entre 7 e 10 minutos) para iniciar a captação de sinais limita sua utilização na prática, sendo necessário avaliar melhores opções, desde considerar testar diferentes modelos de antena até estudar a possibilidade de outros métodos de geolocalização, como o LoRa.

6.3 Estimativa Do Consumo De Bateria

Visando entender a confiabilidade do dispositivo BluEase, foram realizados diversos testes de consumo de bateria. O objetivo desses testes foi compreender o tempo estimado de descarga e recarga da bateria, além de analisar como cada funcionalidade do protótipo afeta o consumo geral de energia, conforme mencionado na Seção 5.3. Um resumo dos resultados, considerando os gráficos das Figuras 45, 46 e 47, pode ser encontrado na Quadro 9 abaixo.

Quadro 9: Resultados teste de bateria

	Tempo de descarregamento (horas)
Descarga à plena carga (Bateria 650mAh)	2,75
Descarga sem GNSS (Bateria 650mAh)	3,78
Descarga à plena carga (Bateria 800mAh)	4,23

Fonte: Autoria própria (2024)

Durante o teste com a bateria de 650mAh, operando com todas as funções ativadas e conectando a cada minuto (Seção 5.3.1), a bateria do BluEase teve uma duração aproximada de 2 horas e 45 minutos (Figura 45).

Como pode ser inferido da Quadro 9, quando o teste foi realizado sem a função de GNSS, a duração da bateria aumentou em cerca de uma hora (Figura 46). Esse resultado comprovou que o módulo GNSS tem grande influência no consumo de bateria. Considerando isso e o fato de o software do protótipo desse projeto receber sinais de GNSS a cada segundo, sugere-se, para desenvolvimento futuro, analisar os efeitos de aumentar o intervalo de recepção de sinais de GNSS no dispositivo, de modo a garantir uma melhor economia de bateria.

Já com relação aos testes realizados para entender o real consumo individual das funções do BLE, considerando os dados da Quadro 6, foi possível perceber que o *advertising* consome uma quantidade considerável da bateria por minuto. Porém, também deve-se considerar que essa função está configurada para ter um *dutycycle* de 50% por segundo, o que garante a transmissão de 60 anúncios por minuto.

Em suma, é possível afirmar que a bateria de 650mAh considerada cumpriu de forma satisfatória os objetivos desse projeto como um protótipo, garantindo alimentação para o BluEase por cerca de 3 horas. Porém, ao realizar o mesmo teste de descarga com uma bateria de 800mAh, constatou-se um aumento de quase duas horas na duração da bateria. Esse resultado comprova que o aumento da capacidade da bateria afeta diretamente o tempo de vida e, para essa capacidade, o peso e o volume da bateria também não sofreram alterações significativas. Por isso, em desenvolvimentos futuros, é de suma importância considerar a implementação de

baterias de maior capacidade, além de realizar análises sobre a otimização do firmware e considerar a alteração do microcontrolador para um de menor consumo, a fim de garantir uma margem maior de funcionamento do dispositivo.

Por fim, com relação ao carregamento, em ambos os testes realizados, foram obtidos resultados semelhantes e considerados praticamente lineares. O tempo de carga de, aproximadamente, uma hora e 20 minutos foi considerado satisfatório e dentro do esperado, considerando a utilização de um carregador comum acoplado a entrada tipo USB C, já integrada no kit de desenvolvimento, que também possui gerenciamento de carga e descarga.

É importante ressaltar que os resultados apresentados nessa Seção podem conter incertezas causadas por resolução do meio de medição (multímetro), arredondamentos nos cálculos etc. Para uma real compreensão de quanto de corrente específica cada funcionalidade (BLE e GNSS) está consumindo, seria necessário um equipamento de medição preciso e específico, como, por exemplo, uma fonte de alimentação da série R&S®NGM200, do fabricante ROHDE & SCHWARZ, que possibilita a simulação precisa do desempenho real de saída da bateria (ROHDE & SCHWARZ, 2024).

Porém, para a realização de uma análise estimada de consumo, é possível afirmar que o método de avaliação utilizado e apresentado foi suficiente e capaz de fornecer dados relevantes que comprovam que o protótipo atingiu os objetivos esperados e destacam possíveis áreas de aprimoramento, visando aprimorar ainda mais a eficiência do sistema.

6.4 Custos

Como uma das premissas consideradas no projeto foi desenvolver um dispositivo acessível, a análise de custos é essencial para avaliar a viabilidade econômica do desenvolvimento e implementação do BluEase. A Quadro 10 a seguir apresenta uma análise detalhada dos custos envolvidos no projeto, levando em consideração o custo real de um dispositivo. Vale ressaltar que os protótipos desenvolvidos como produto deste trabalho tiveram um custo final reduzido, pois alguns componentes, como a placa de desenvolvimento ESP32 WROOM Module, já estavam disponíveis para uso pessoal e não precisaram ser comprados ou foram comprados em lojas de eletrônicos.

Além disso, o gabinete usado para desenvolvimento foi reciclado de recursos disponíveis no momento, sem a real implementação de uma impressão 3D. O custo estimado para a impressão de um gabinete, considerando a impressora 3D já disponível, envolveria apenas o custo do material utilizado. Em média, um quilograma de filamento PLA custa

R\$130,00 (3DLAB, 2024). Supondo que o protótipo em questão teria, em média, 50 gramas, seria possível produzir 20 peças com esse filamento, com um custo unitário de, aproximadamente, R\$6,50.

Quadro 10: Análise de custos

Dispositivo	Item	Custo Real	Referência
Semáforo	ESP32 WROOM Module	R\$ 50,00	<u>LOJA DA ROBÓTICA, 2024</u>
	Buzzer	R\$ 7,99	<u>CASA DA ROBÓTICA, 2024</u>
BlueEase	Kit de desenvolvimento da Heltec - Wireless tracker	R\$ 125,92	<u>ALIEXPRESS, 2024</u>
	Bateria LiPo 3,7V 650mAh	R\$ 59,90	<u>MAGAZINE LUIZA, 2024</u>
	Módulo Motor de Vibração	R\$ 11,24	<u>FÁBRICA DE BOLSO, 2024</u>
	Botão switch	R\$ 4,25	<u>ELETROINFOCIA, 2024</u>
	Gabinete	R\$ 6,50	<u>3DLAB, 2024</u>
Custo total:		R\$ 265,80	

Fonte: Autoria própria (2024)

O Kit de Desenvolvimento da Heltec (Wireless Tracker) é o segundo item mais caro do projeto, com um custo de R\$ 125,92 por unidade. Este componente exerce um impacto considerável no custo total do dispositivo, uma vez que deve estar presente em todas as bengalas. Além de aumentar os custos unitários, o Kit da Heltec, por ser essencial na funcionalidade do BluEase, torna-se não apenas um fator que eleva os custos, mas também um elemento crucial na determinação da viabilidade econômica da implementação em larga escala. Portanto, é essencial estudar outros microcontroladores que ofereçam um melhor custo-benefício. O objetivo é escolher um equipamento que atenda às funcionalidades mínimas necessárias do dispositivo, sem a necessidade de incluir componentes não utilizados como um display e rádio LoRa, existentes no microcontrolador considerado no protótipo.

Outro fator importante é a escolha da bateria. Optou-se por uma bateria LiPo de 3,7V e 650mAh, adquirida por R\$ 59,90 (reduzida a R\$ 48,00 no custo prático). Embora esta bateria seja suficiente para o protótipo, a utilização de baterias de maior capacidade poderia estender a vida útil do dispositivo e garantir melhor durabilidade, como mencionado na Seção 6.3. Entretanto, tal escolha implicaria em um aumento nos custos do projeto, demandando uma análise cuidadosa para equilibrar a durabilidade da carga com a viabilidade econômica.

Além disso, a partir dessa análise, é possível inferir que, para uma possível produção em massa, a impressão 3D poderia se tornar inviável, em função do tempo demandado para impressão. Uma opção econômica para esse caso é a moldagem por injeção de plástico. Este método envolve a criação de um molde que pode ser usado repetidamente para produzir múltiplas unidades do gabinete. Embora o custo inicial do molde possa ser alto, variando entre

R\$15.000,00 e R\$25.000,00 (RODA, 2020), o custo por unidade diminui significativamente à medida que a produção em massa é realizada.

Por fim, conclui-se que, comparando com os valores mencionados nas soluções assistivas presentes na Seção 3, o BluEase é um projeto economicamente viável e acessível, com um custo total de produção de cerca de R\$265,80, quando considerando a produção individual e com o gabinete via impressão 3D. No entanto, é importante ressaltar que essa análise foi feita de forma superficial, sem considerar custos como gerenciamento da produção, marketing etc. Porém, também é importante ressaltar que esse valor possui potencial para redução significativa quando considerado o desenvolvimento do projeto para produção em larga escala.

7 CONCLUSÃO

Acessibilidade e inclusão são temas de grande relevância e que têm sido constantemente abordados, especialmente considerando os desafios enfrentados por pessoas com deficiência visual durante deslocamentos urbanos. Dados do IBGE (2010) revelam uma porcentagem significativa de pessoas com deficiência visual no Brasil, e estudos mostram que esses indivíduos enfrentam maiores riscos de acidentes em comparação com a população em geral. As soluções existentes, como cães-guia e algumas tecnologias assistivas, apresentam limitações significativas, tanto operacionais quanto de acessibilidade.

Assim, levando em conta o contexto apresentado, este trabalho de conclusão de curso propôs a utilização de novas tecnologias para assegurar que a mobilidade de pessoas cegas seja segura e autônoma, por meio da idealização e a prototipação de um dispositivo portátil capaz de interagir com os semáforos de pedestre através de BLE e GNSS, oferecendo tanto sinais sonoros quanto vibração para comunicar a autorização de travessia.

As escolhas, tanto para desenvolvimento de hardware, quanto para implementação do software, foram feitas com base em resultados obtidos através de uma pesquisa de campo realizada com deficientes visuais, visando atender da melhor maneira possível as necessidades e as expectativas apresentadas por esse grupo de pessoas. Um dos principais benefícios do projeto desenvolvido é a robustez e segurança proporcionadas pela comunicação sem fio BLE (Bluetooth Low Energy), em conjunto com um sistema de geolocalização GNSS (Global Navigation Satellite System). Essa combinação assegura que o dispositivo BluEase se conecte de forma automática ao semáforo apenas quando estiver próximo e garante o envio de informações sobre o estado do semáforo para o BluEase para ativação de um feedback tátil (vibração), proporcionando aos usuários um alto nível de confiabilidade e inclusão durante as travessias.

O produto obtido ao final desse trabalho e os resultados apresentados atenderam aos objetivos definidos e as sugestões propostas pelos usuários de forma satisfatória. Os testes realizados em diversas condições e com diferentes objetivos comprovaram o funcionamento seguro e eficiente do dispositivo. A conexão ocorreu no tempo e na distância esperados, garantindo feedbacks sonoros e táteis de forma confiável. Além disso, o design do dispositivo também garantiu pontos de extrema relevância, como um gabinete de tamanho pequeno e leve, capaz de ser acoplado a bengala, bateria com duração razoável e possibilidade de recarregamento.

Dentre os pontos de melhoria encontrados ao longo do desenvolvimento estão, principalmente, a captação da geolocalização e a realização de multiconexões via BLE. O tempo razoavelmente elevado para iniciar a captação de sinais e a incerteza gerada pelo GNSS limitam sua utilização na prática, fazendo essa questão um ponto prioritário para melhoria. Por isso, um ponto de trabalho futuro envolve avaliar melhores opções, desde considerar testar diferentes modelos de antena até estudar a possibilidade de outros métodos de geolocalização, como o LoRa.

Além disso, a limitação de uma conexão por ciclo, apesar de ser mitigado pelo sinal sonoro inserido, também deve ser um item de atenção e desenvolvimento futuro, buscando o aprofundamento no modelo híbrido mencionado para entender melhor os protocolos do BLE e a forma como ocorrem as multiconexões no modo conectado.

Por fim, em resumo, é possível afirmar que os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e comprovaram que o protótipo final é funcional, acessível e versátil, podendo ser utilizado em diversas aplicações além das mencionadas nesse projeto. Apesar disso, foi possível listar inúmeras oportunidades de melhorias e evoluções para o projeto, que poderiam agregar muito para o desenvolvimento efetivo desse projeto como um produto no mercado.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, N.; TOLOZA, J. Techniques to improve the GPS precision. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 3, n. 8, 2012.
- ALIEXPRESS. **Heltec-ESP32 GPS Tracker para veículo, LoRa, Meshtastic, Tracker para crianças, Pet, carro, Wi-Fi, Bluetooth, SX1262**. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005005681504175.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.5.6b03caa4sd2Jpk&gatewayAdapt=glo2bra. Acesso em: 21 mai. 2024.
- ANDRADE, H. G. V. de *et al.* Desenvolvimento de Tecnologias Assistivas, de baixo custo, para mobilidade autônoma de pessoas cegas. **Revista de Sistemas e Computação-RSC**, v. 12, n. 2, 2022.
- ARGÜELLO, E. J.; SANTACRUZ, L. M. A belt-like assistive device for visually impaired people: Toward a more collaborative approach. **Cogent Engineering**, v. 9, n. 1, p. 2048440, 2022.
- ATOJI, R. I. **Bluetooth e NFC: estudo de caso**. Universidade de São Paulo, 2010.
- BELLINI, P.; NESI, P.; PANTALEO, G. IoT-enabled smart cities: A review of concepts, frameworks and key technologies. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1607, 2022.
- BOURNE, R. *et al.* Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. **The Lancet global health**, v. 9, n. 2, p. e130-e143, 2021.
- CARDILLO, E. *et al.* An electromagnetic sensor prototype to assist visually impaired and blind people in autonomous walking. **IEEE Sensors Journal**, v. 18, n. 6, p. 2568-2576, 2018.
- CASA DA ROBÓTICA. **Módulo Buzzer Ativo KY-012**. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/modulo-buzzer-ativo-campainha-alar-me-arduino-pic-esp-ky-012>. Acesso em: 21 mai. 2024.
- CHARLEAUX, L. **Quais as diferenças entre os tipos e classes de Bluetooth**. Canaltech, 2022. Disponível em: <https://canaltech.com.br/produtos/quais-as-diferencas-entre-os-tipos-e-classes-de-bluetooth-214608/>. Acesso em: 06 dez. 2023.
- CONTRAN; **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Sinalização Semafórica**. 1. ED. [S.I.: s.n.], 2014. p. 24-41.
- CURTO-CIRCUITO. **Conhecendo o ESP32**. Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20IoT/conhecendo-esp32>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- CZERWONKA, M. **Semáforo sonoro: entenda o que é e quando é preciso instalá-lo**. Portal do Trânsito, 2023. Disponível em: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/mobilidade-e-tecnologia/semaforo-sonoro-entenda-o-que-e-e-quando-e-preciso-instala-lo/>. Acesso em: 28 out. 2023.
- DA CUNHA, A. M.; DOS SANTOS, S. C. Tecnologias Assistivas para Pessoas com Deficiência Visual. **Cadernos de Prospecção**, v. 15, n. 1 p. 215-227, 2022.

DATAPROM. **Sobre Nós**. Disponível em: <https://dataprom.com/sobre-nos/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

DE ARAUJO, H. F. **Implementação e análise do nrf24l01+ como beacon bluetooth low energy**. Recife, 2016.

DE CERQUEIRA, F. C. Conceitos iniciais de GPS. **Revista Tecnologia**, v. 18, n. 1, 1997.

DO NASCIMENTO, J. T.; LAMMOGLIA, B. Treinamento de cão-guia e possibilidades de educação não escolar. **Revista Científica Multidisciplinar UNIFLU**, v. 5, n. 2, p. 41-56, 2020.

DRECHSLER, L. **Sistema De Posicionamento Indoor Utilizando Uma Rede De Sensores Sem Fios Baseada No Protocolo De Comunicação Zigbee**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/15422>. Acesso em: 28 out. 2023.

ELETROINFOCIA. **Chave Liga Desliga Momentânea 6A 250V AC 2 Terminais**. Disponível em: <https://www.eletoinfocia.com.br/chave-liga-desliga-momentanea-6a250vac-2-terminais?parceiro=5383>. Acesso em: 21 mai. 2024.

FÁBRICA DE BOLSO. **Módulo Motor de Vibração**. Disponível em: https://loja.fabricadebolso.com.br/produto/modulo-motor-de-vibracao?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant. Acesso em: 21 mai. 2024.

FALCONI, C. E. **Calculando distâncias e direções utilizando Coordenadas Geográficas**. Piloto Policial, 2009. Disponível em: <https://www.pilotopolicial.com.br/calculando-distancias-e-direcoes-utilizando-coordenadas-geograficas/>. Acesso em: 05 abr. 2024

FOREST-GIS. **Acurácia GPS: O que são PDOP, HDOP, GDOP, multicaminho e outros?** Disponível em: <https://forest-gis.com/2018/01/acuracia-gps-o-que-sao-pdop-hdop-gdop-multi-caminho-e-outros.html/#:~:text=Todas%20as%20vari%C3%A1veis%20que%20terminam,enfrentam%20at%C3%A9%20chegar%20ao%20receptor>. Acesso em: 23 abr. 2024.

G1 PR. **Prefeitura de Curitiba instala semáforos sonoros para travessia de pedestres; veja como utilizar**. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2023/04/25/prefeitura-de-curitiba-instala-semaforos-sonoros-para-travessia-de-pedestres-veja-como-utilizar.ghtml>. Acesso em: 19 mai. 2023.

GOMES, T. S. **Fundamentos de GPS: conceitos, operação e configuração**. Apostila do curso de Sig@ Livre Sistemico, Ministério da Agricultura, Brasília, 2010.

HOLYIOT. **Product Name : Nordic nRF51822 4.0 module for Beacon Support NFC functions**. Disponível em: http://www.holyiot.com/eacp_view.asp?id=316. Acesso em: 23 nov. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INCLUSIVE CITY MAKER. **The Ultimate Guide to Accessible Pedestrian Signals**. Disponível em: <https://www.inclusivecitymaker.com/guide-accessible-pedestrian-signals/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

IPPUC. **Circular 004/CP016/2023/Lote02/PCTE01/Complem/Esclarec**. Disponível em: https://utag.ippuc.org.br/wp-content/uploads/Circular004_CP016-2023_Lote02_PCTE01_Complem_Esclarec.pdf. Acesso em: 17 nov. 2023.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. (Ed.). **Understanding GPS/GNSS: principles and applications**. Artech house, 2017.

KATZSCHMANN, R. K.; ARAKI, B.; RUS, D. Safe local navigation for visually impaired users with a time-of-flight and haptic feedback device. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 26, n. 3, p. 583-593, 2018.

KOLBAN, N. **ESP32 BLE Arduino Examples**. GitHub, 2018. Disponível em: https://github.com/nkolban/ESP32_BLE_Arduino/tree/master/examples. Acesso em: 20 jan. 2024.

LI, M. **Fatores que afetam o alcance do beacon Bluetooth**. Moko Blue, 2023. Disponível em: <https://www.mokoblue.com/pt/factors-affecting-bluetooth-beacon-range/>. Acesso em: 06 dez. 2023.

LOJA DA ROBÓTICA. **Módulo ESP32 Wroom 32 Bluetooth Wifi**. Disponível em: https://www.lojadarobotica.com.br/modulo-esp32-wroom-32-bluetooth-wifi?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant. Acesso em: 21 mai. 2024.

LOUIS BRAILLE. **As três cores e seus significados das bengalas**. Disponível em: <https://louisbraille.org.br/portal/2020/07/27/as-tres-cores-e-seus-significados-da-bengalas/>. Acesso em: 24 out. 2023.

MAGAZINE LUIZA. **Bateria p/ Drone GPS Original 650 mAh 3.7V c/ Adaptador Syma - Rontek**. Disponível em: https://www.magazineluiza.com.br/bateria-p-drone-gps-original-650-mah-37v-c-adaptador-syma-rontek/p/ajf002a0h8/cf/acdr/?seller_id=vesanso&srsId=AfmBOooCVvVcJgry9ZT4r2no8xt0gTKfgZUfEE-7P1u6s4eEuCw3A5GiBVg. Acesso em: 21 mai. 2024.

MICROCHIP. **Bluetooth® Low Energy (BLE) Physical Layer**. Disponível em: <https://microchipdeveloper.com/xwiki/bin/view/applications/ble/introduction/>. acesso em: 22 nov. 2023.

MICROCHIP. **Introduction to Bluetooth® Low Energy**. Disponível em: <https://microchipdeveloper.com/xwiki/bin/view/applications/ble/introduction/>. acesso em: 22 nov. 2023.

NUNES, L. G. Treinamento de cães-guia: um estudo de caso. **Souza, MS et al. CÃES-GUIA NO BRASIL: primeiros estudos**, p. 62-75, 2019.

OLIVEIRA, L. L. G. de et al. **Importância do cão-guia para deficientes visuais através de relatos obtidos no Centro de Treinamento de Cão-Guia do Instituto Magnus no Estado de São Paulo**. Patos, 2019.

OLIVEIRA, LFP de. **Desenvolvimento de um sistema controlador de semáforos sem fio, com monitoramento e progressão semaforica em tempo real aplicado a cidades inteligentes**. 2020. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Semicondutores Instrumentos e Fotônica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PIMENTA, M. L. **Cão-Guia: tudo que você precisa saber sobre o assunto**. Patas da Casa, 2023. Disponível em: <https://www.patasdacasa.com.br/noticia/cao-guia-tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-o-assunto>. Acesso em: 24 out. 2023.

PINTO, W. L. J. **Robô controlado por gestos com feedback tátil**. Universidade Federal do Maranhão, 2017.

RALL, R.; GONÇALVES, L. E. R. Protótipo automatizado de detecção de obstáculos para deficientes visuais. **Tekhne e Logos**, v. 12, n. 2, p. 86-96, 2021.

RODA, D. **Moldes de injeção de plástico: custos**. Tudo Sobre Plásticos, 2020. Disponível em: https://www.tudosobreplasticos.com/moldes/moldes_custos.asp#:~:text=Os%20moldes%20de%20inje%C3%A7%C3%A3o%20de,%E2%80%93%20R%24%20250.000%20ou%20m ais. Acesso em: 21 mai. 2024.

ROHDE & SCHWARZ. **R&S®NGM200 Power Supply Series**. Disponível em: https://www.rohde-schwarz.com/br/produtos/teste-e-medicao/fontes-de-alimentacao-cc/rs-ngm200-power-supply-series_63493-652229.html. Acesso em: 09 abri. 2024.

RUSTAMOV, R. B.; HASHIMOV, A. M. (Ed.). **Multifunctional Operation and Application of GPS**. BoD–Books on Demand, 2018.

SCHMIDT, S. **A árdua tarefa para conseguir um cão-guia: são 133 animais e 6 milhões de pessoas com grande dificuldade de enxergar no país**. O Globo, 2021. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/a-ardua-tarefa-para-conseguir-um-cao-guia-sao-133-animais-6-milhoes-de-pessoas-com-grande-dificuldade-de-enxergar-no-pais-1-25271506>. Acesso em: 26 mai. 2023.

STEWART, S. **What is BLE, and how do its related GAP and GATT profiles work?** CardinalPeak, 2023. Disponível em: <https://www.cardinalpeak.com/blog/what-is-ble-and-how-do-its-related-gap-and-gatt-profiles-work>. Acesso em: 23 nov. 2023.

TASAKI, H. **80% of audible traffic signals for blind in Japan silenced to appease residents**. Mainichi Japan, 2020. Disponível em: <https://mainichi.jp/english/articles/20201230/p2a/00m/0dm/007000c>. Acesso em: 15 nov. 2023.

TAUCHI, M. *et al.* A new audible traffic signal that helps blind pedestrians to cross intersections by providing navigation clues. In: **Proc of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems**. 1998. p. 1-8.

UFRJ. **Bluetooth Low Energy: Implementação**. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2012_2/bluetooth/implementacao.htm. Acesso em: 23 nov. 2023.

WEID, O. O Corpo estendido de cegos: cognição, ambiente, acoplamentos. **Sociologia & Antropologia**, v. 5, p. 935-960, 2015.

WEWALK. **Bengala Inteligente WeWALK**. Disponível em: <https://maisautonomia.com.br/bengala-inteligente-wewalk/>. Acesso em: 27 out. 2023.

WJ Componentes Eletrônicos. **Motor de Vibração**. Disponível em: <https://www.wjcomponentes.com.br/motores/motor-vibracao>. Acesso em: 29 out. 2023.

WOOLLEY, M. The bluetooth low energy primer. **Bluetooth Blog**, v. 15, p. 2022, 2022.

YANG, J. *et al.* Beyond beaconing: Emerging applications and challenges of BLE. **Ad hoc networks**, v. 97, p. 102015, 2020.

3D LAB. **Filamento PLA HT Impact Preto**. Disponível em: <https://3dlab.com.br/produto/filamento-pla-ht-impact-preto/>. Acesso em: 29 mai. 2024.

APÊNDICE A - Questionário de pesquisa
Aprimorando a Acessibilidade na Travessia de Rua para Indivíduos com
Deficiência Visual: Coleta de Opiniões e Dados

Aprimorando a Acessibilidade na Travessia de Rua para Indivíduos com Deficiência Visual: Coleta de Opiniões e Dados

Olá!

Nós somos Gabriela e Carlos, estudantes de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Para a nosso trabalho de conclusão de curso, estamos buscando juntar tecnologia e inovação para garantir melhoria na qualidade de vida de deficientes visuais! Com esse objetivo em mente, pretendemos criar um dispositivo que ajude deficientes visuais a atravessar a rua, uma vez que essa atividade representa um risco significativo para essas pessoas.

Por isso, contamos com a sua ajuda para entendermos a sua perspectiva em relação ao sistema atual de sinalização para pedestres e como podemos desenvolver nosso dispositivo de forma a atender da melhor maneira possível às suas necessidades!

Ressaltamos que todas as informações compartilhadas nesse questionário serão mantidas de forma anônima e utilizadas apenas para aprimorar nossa pesquisa, sem serem disponibilizadas para outros fins!

Desde já, agradecemos a sua participação!

1. 1. Para conhecermos um pouco de você, gostaríamos de perguntar qual é o seu nível de deficiência visual?
 - Cego (a) [não enxerga]
 - Deficiência visual severa/moderada [enxerga muito pouco]
 - Deficiência visual leve [enxerga pouco]
 - Deficiência visual devido a presbiopia

2. 2. Você considera o sistema atual de sinalização para pedestres (sinaleiros, botões para acionamento do semáforo, faixa de pedestre etc) seguro para pessoas com deficiência visual?
 - Sim
 - Não

3. 3. Esse sistema atual com botões de acionamento do semáforo de pedestre é de fácil manuseio? Ou seja, é fácil identificar e localizar esse botão?

Sim

Não

4. 4. Qual a maior dificuldade que você encontra ao atravessar a rua?
- Dificuldade em identificar quando o semáforo está liberado para pedestres
- Receio de que os carros não parem para permitir a travessia com segurança
- Dificuldade em localizar o poste e o botão de acionamento do semáforo para pedestres
- Outro: _____
5. 5. Novas tecnologias têm sido instaladas nos semáforos para melhorar essas condições para os deficientes visuais, como o sistema sonoro de semáforo para pedestres. Você conhece esse sistema?
- Sim
- Não
6. 6. Você já encontrou e utilizou um semáforo sonoro para atravessar a rua?
- Sim
- Não
7. 7. Você considera esse novo sistema de semáforos sonoros mais eficiente quando comparado com os semáforos comuns?
- Sim
- Não
8. 8. Você consegue facilmente identificar/localizar esses semáforos sonoros?
- Sim
- Não
9. 9. Barulhos externos (carros, caminhões, ônibus e etc) atrapalham na identificação do som vindo do semáforo sonoro?
- Não
- Atrapalha pouco
- Atrapalha muito
10. 10. Baseado na sua experiência pessoal e considerando um possível desenvolvimento de um novo dispositivo para auxiliar a atravessar a rua, você considera mais importante que o dispositivo seja:
- Portátil (o usuário pode carregar o dispositivo consigo)
- Anexado ao poste

11. 11. Baseado na sua experiência pessoal e considerando um possível desenvolvimento de um novo dispositivo para auxiliar a atravessar a rua, você considera mais importante que o dispositivo tenha:

Um sinal sonoro

Um sinal por

Vibração

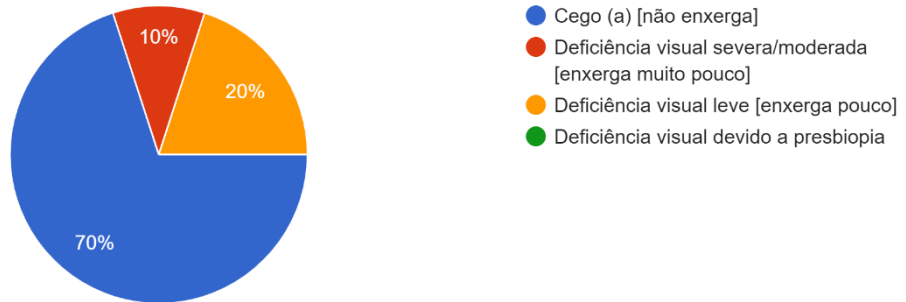
Ambos (sonoro e vibração)

12. 12. [EXTRA] Baseado na sua experiência pessoal e na sua criatividade, você teria mais alguma sugestão para funcionalidade de um novo dispositivo para auxiliar a atravessar a rua?

**APÊNDICE B - Respostas Questionário de pesquisa
Aprimorando a Acessibilidade na Travessia de Rua para Indivíduos com
Deficiência Visual: Coleta de Opiniões e Dados**

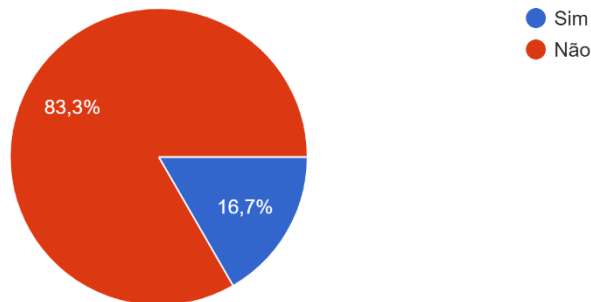
1. Para conhecermos um pouco de você, gostaríamos de perguntar qual é o seu nível de deficiência visual?

30 respostas



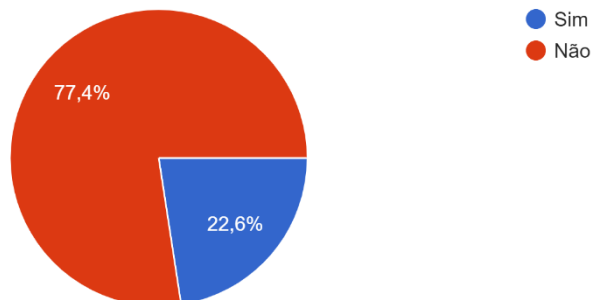
2. Você considera o sistema atual de sinalização para pedestres (sinaleiros, botões para acionamento do semáforo, faixa de pedestre etc) seguro para pessoas com deficiência visual?

30 respostas



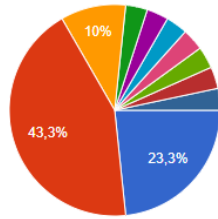
3. Esse sistema atual com botões de acionamento do semáforo de pedestre é de fácil manuseio? Ou seja, é fácil identificar e localizar esse botão?

31 respostas



4. Qual a maior dificuldade que você encontra ao atravessar a rua?

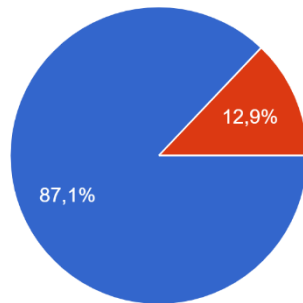
30 respostas



- Dificuldade em identificar quando o semáforo está liberado para pedestre
- Receio de que os carros não parem para permitir a travessia com segurança
- Dificuldade em localizar o poste e o botão de acionamento do semáforo para pedestres
- O fato de as pessoas não respeitarem o semáforo traz muita insegurança pra atravessar a rua, pois não dá pra saber se o carro realmente vai parar.
- 00000
- A maior dificuldade são as travessias cuja as calçadas estão no mesmo patamar das ruas, porque eu não sei quando acaba a calçada e começa rua colocando minha vida em risco
- Dificuldade para encontrar a faixa de pedestres e todas as outras acima
- A dificuldade que encontro, é quando termino de atravessar o sinaleiro e achar a calçada do outro lado da rua. Pensando que temos que atravessar rápido antes que o sinaleiro abra para os carros. Sempre me deparo com o meio fio e acabo tropeçando.
- Receio de que os carros não parem para permitir a travessia com segurança, e Dificuldade em localizar o poste e o botão de acionamento do semáforo para pedestres
- Existem pouquíssimos semáforos adaptados. Eu pessoalmente só conheço umdois e um deles não funciona

5. Novas tecnologias têm sido instaladas nos semáforos para melhorar essas condições para os deficientes visuais, como o sistema sonoro de semáforo para pedestres. Você conhece esse sistema?

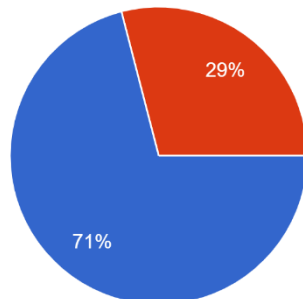
31 respostas



- Sim
- Não

6. Você já encontrou e utilizou um semáforo sonoro para atravessar a rua?

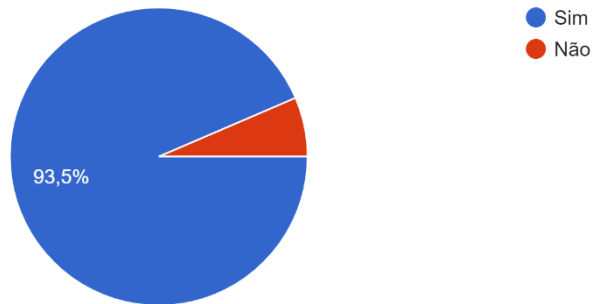
31 respostas



- Sim
- Não

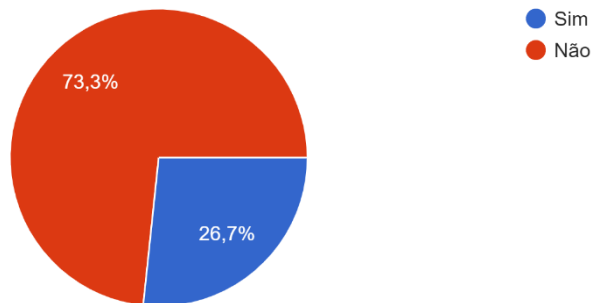
7. Você considera esse novo sistema de semáforos sonoros mais eficiente quando comparado com os semáforos comuns?

31 respostas



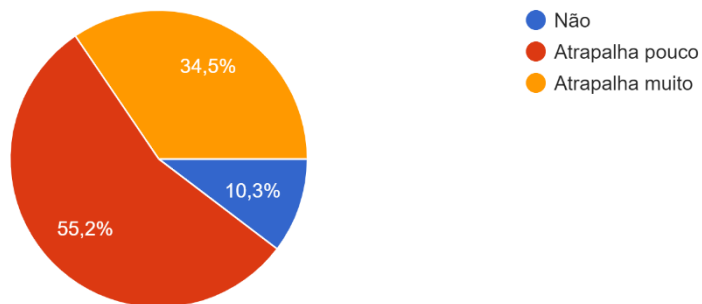
8. Você consegue facilmente identificar/localizar esses semáforos sonoros?

30 respostas



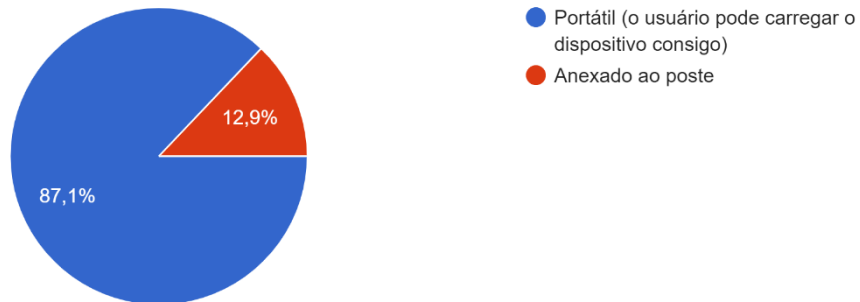
9. Barulhos externos (carros, caminhões, ônibus e etc) atrapalham na identificação do som vindo do semáforo sonoro?

29 respostas



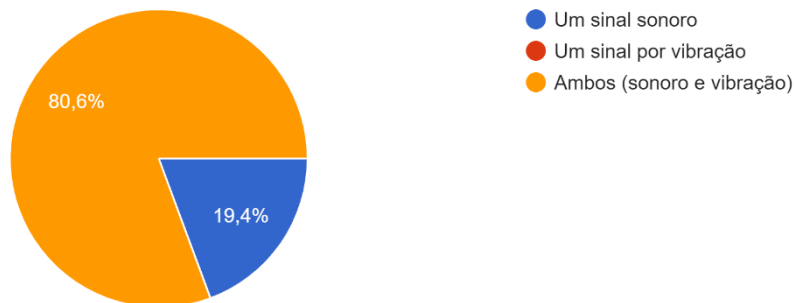
10. Baseado na sua experiência pessoal e considerando um possível desenvolvimento de um novo dispositivo para auxiliar a atravessar a rua, você considera mais importante que o dispositivo seja:

31 respostas



11. Baseado na sua experiência pessoal e considerando um possível desenvolvimento de um novo dispositivo para auxiliar a atravessar a rua, você considera mais importante que o dispositivo tenha:

31 respostas



12. [EXTRA] Baseado na sua experiência pessoal e na sua criatividade, você teria mais alguma sugestão para funcionalidade de um novo dispositivo para auxiliar a atravessar a rua?

14 respostas

Fazer com que o dispositivo de alguma forma indique onde tem um sinal mais próximo pra ficar mais fácil de identificar

Creio que o dispositivo móvel seria muito melhor, mas tem o valor quando comparado àquele anexado ao poste.

Entendo que de alguma forma, os motoristas precisariam estar plenamente cientes de que em determinados locais, pessoas com deficiência visual poderiam, a qualquer momento, valer-se da possibilidade de fazer a travessia de uma ou mais pistas, por se sentirem seguras, em função do uso do referido recurso.

Que fosse visível para as pessoas que enxergam

Não tenho ideias.

Deveria ser como é nos Estados Unidos: em vez de Bips, o sinaleiro fala verbalmente que está na hora de atravessar e quando está na hora de esperar

Travessia acessível e segura em todos os semáforos da cidade com tags acesso deficiente visual o pmr

Semáforo sonoro em TODAS AS RUAS

Ele poderia ser um anel ou poderia ter a possibilidade de ser acoplado na parte superior das bengalas.

Talvez criar um aplicativo Que sincronize com o semáforo, desta forma sinaleira emite o sinal sonoro e o celular vibra com conforme a sinalização

Não sou deficiente visual, sou deficiente auditiva, mas convivo com vários dvs. Se o dispositivo puder ser conectado ao sistema viário como outro dispositivo eletrônico Wi-Fi de cidades inteligentes seria um avanço na acessibilidade e plenamente viável. E esse dispositivo pode ir além de auxiliar na travessia. Com aplicativos para celular ou pulseiras sonoras seria possível monitorar e facilitar trajetos no deslocamento para pedestres. As calçadas são extremamente "inimigas" da acessibilidade com muitos obstáculos.

Possuo certo conhecimento em eletrônica e microcontroladores. Penso principalmente no custo para implantar um sistema em toda uma cidade, como /são Paulo. Imagino um sistema onde seriam criadas duas pastilhas que pudessem ser colocadas entre as lâmpadas e o soquete dos faróis de pedestres já existentes. Estas pastilhas seriam alimentadas pela energia da lâmpada e cada uma delas emitiria um sinal de rádio frequência diferente. Assim quando o sinal estivesse aberto para pedestres haveria um sinal próximo ao poste do semáforo e quando o semáforo estivesse fechado, haveria um sinal em outra frequência. Um receptor portátil e talvez até mesmo algum recurso do smart phone do deficiente receberia este sinal quando o deficiente chegasse próximo ao poste (cerca de no máximo, 2 metros) e este aparelho emitiria sinais diferentes para sinal aberto ou fechado. Uma outra questão bastante importante é que comercios como bares perto destes semáforos sonoros, acabam ficando icomodados pelo barulho constante do próprio semáforo sonoro. Neste caso, este problema não haveria, já que o dispositivo ficaria com o deficiente e não no poste. Coloco-me a disposição para d debater a ideia.

Não

Quanto ao funcionamento, não tenho sugestões. Apenas acho importante ressaltar a necessidade de tais semáforos serem adaptados em maior quantidade. Ou seja, indo além do centro da cidade, por exemplo. Outro ponto é não se incluir voz em um sistema desses, pois seria impossível escutar com o trânsito pesado, além de ser mais demorado para ouvir e assimilar o que é dito, melhor realmente é um sinal alto como apitos contínuos, ou algo nesse sentido.