

Sistema de Apoio à Localização em Ambientes Internos para Pessoas com Deficiência Visual Utilizando Tecnologia *Beacon*

Enthoni A. F. Serafim¹, Luca da G. Wyatt¹, Julia S. Barreiros¹,
Ana L. A. da S. do Nascimento¹, Richard J. M. G. Tello¹

¹Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Serra
Av. dos Sabiás, 330 - Morada de Laranjeiras, Serra - ES - Brasil

{enthoni.afs, lucadagama, julia.barreiros16}@gmail.com,

alvesdasilvadonascimentoanalui@gmail.com, richard@ifes.edu.br

Abstract. *This article presents the development of a system to assist visually impaired individuals in navigating indoor environments. The system includes a beacon0, carried by the user, and additional beacons (beacon1, beacon2 and beacon3) placed in fixed locations. When the person approaches a beacon, the beacon0 emits a message through a speaker, providing location references. The prototype utilizes an ESP32 board, DFPlayer Mini MP3 module, 1W/8 Ohm speaker, and 32GB microSD. Tests were conducted in a 38.5-meter corridor, adjusting transmission power and monitoring the RSSI to ensure effective communication. The results confirmed the system's robustness in data transmission and audio playback, highlighting its effectiveness in controlled environments.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema para auxiliar pessoas com deficiência visual na localização em ambientes internos. O sistema inclui um beacon0, carregado pelo usuário, e beacons adicionais (beacon1, beacon2 e beacon3) em locais fixos. Quando a pessoa se aproxima de um beacon, o beacon0 emite uma mensagem via alto-falante, indicando referências de localização. O protótipo utiliza uma placa ESP32, módulo MP3 DFPlayer Mini, alto-falante de 1W/8 Ohms e microSD de 32GB. Testes foram realizados em um corredor de 38,5m, ajustando a potência de transmissão e monitorando o RSSI para garantir comunicação eficaz. Os resultados confirmaram a robustez do sistema na transmissão de dados e reprodução de áudio, destacando sua eficácia em ambientes controlados.*

1. Introdução

Segundo o reporte da Organização Mundial da Saúde (OMS) intitulado “World report on vision” (traduzido ao português: “Relatório mundial sobre visão”) de 2019, globalmente, pelo menos 2,2 bilhões de pessoas têm deficiência visual, das quais cerca de 1 bilhão de casos poderiam ter sido evitados ou ainda não foram tratados [WHO 2019]. O texto ainda indica que estimativas precisas sobre o total de pessoas com deficiência visual são difíceis de obter, pois os dados disponíveis não incluem os casos de correção visual com óculos ou lentes de contato. Mesmo assim, estima-se que pelo menos 2,2 bilhões de pessoas no mundo sofram de deficiência visual ou cegueira.

Atualmente, a tecnologia tem buscado ser acessível ao maior número possível de pessoas, exemplos deste fato são: sites com recursos de acessibilidade permitindo alterar o tamanho e tipo de letra, sistemas operacionais para computadores e *smartphones* com recursos de acessibilidade que narram detalhes da interface para usuários. Além disso, editores de texto frequentemente possuem a conversão de texto em fala como recurso padrão, e plataformas de videoconferência oferecem legendas automáticas [WHO and UNICEF 2022]. Nesse contexto, as Tecnologias Assistivas desempenham um papel fundamental na inclusão de pessoas com deficiência visual, bem como de outras deficiências, como motoras, auditivas, cognitivas, etc.

Atualmente, existem poucas opções de auxílio à navegação para cegos e deficientes visuais. Uma dessas opções são as bengalas eletrônicas ou também chamadas de bengalas inteligentes (cujo termo utilizado em inglês é *Smart Cane*). A bengala inteligente é um aparelho assistivo equipado de diversos sensores e pode ser utilizada em ambientes livres ou não controlados.

Com o uso desta bengala eletrônica, diversas aplicações de tecnologia da informação e comunicação (TIC) têm sido desenvolvidas para aumentar a eficiência e a segurança ao caminhar. Desta forma, temos bengalas equipadas com câmeras *Bleau2021*, detectores de obstáculos como sensor LiDAR [Mai et al. 2024], com dispositivos GPS [Retnowati and Budi 2018] e aplicativos para Android, acompanhando o crescente uso de *smartphones* por pessoas com deficiência visual [Huang et al. 2022]. No entanto, ainda existem desafios significativos entre as necessidades reais dos usuários e as soluções disponíveis. Uma das principais desvantagens desse sistema é a dificuldade em fornecer informações com precisão sobre a localização da pessoa em ambientes internos ou controlados.

Com o objetivo de auxiliar a orientação de pessoas com deficiência visual, este trabalho apresenta uma solução baseada na tecnologia *Beacon*, que pode ser traduzida como “farol”. Esta solução oferece uma alternativa confiável, permitindo que a pessoa receba informações de localização e se oriente dentro de ambientes controlados.

2. Referencial Teórico e Trabalhos Correlatos

2.1. Os *Beacons*

Os *beacons* são dispositivos sem fio de baixo consumo de energia que utilizam *Bluetooth Low Energy (BLE)* para diversas finalidades, como sistemas de segurança e busca de objetos. Também são utilizados em ambientes comerciais para indicar promoções e personalizar a experiência do usuário ao identificar sua proximidade com produtos específicos [Lin et al. 2022]. Em 2013, a Apple® apresentou o *iBeacon*¹ durante sua Conferência anual para desenvolvedores (WWDC), introduzindo a primeira padronização e um protocolo específico para o uso de *beacons* em dispositivos iOS. Essa inovação foi seguida pelo desenvolvimento de outros protocolos baseados em *BLE*, como o Eddystone, da Google Inc., ambos voltados para serviços de proximidade contextual [Zafari et al. 2019].

Os sinais transmitidos pelos *beacons* incluem três identificadores principais [Fard et al. 2015]:

¹Documentação da Apple® sobre o *iBeacon*: (<https://developer.apple.com/ibeacon/>)

- **UUID** (Identificador Universalmente Único - do Inglês: *Universally Unique Identifier*): um número inteiro de 128 bits, que serve como ID para todos os beacons utilizados em uma aplicação.
- **Major**: um valor inteiro de 0 a 65535, utilizado para diferenciar entre beacons que compartilham o mesmo UUID.
- **Minor**: também um número inteiro 0 a 65535, que permite distinguir entre beacons que possuem os mesmos valores de UUID e Major.

As mensagens dos *beacons* consistem em um UUID obrigatório de 128 bits e valores opcionais de Major e Minor, cada um sendo um número inteiro entre 0 e 65535. Qualquer dispositivo habilitado para BLE, que tenha um aplicativo proprietário para ouvir os *beacons*, captura as mensagens e usa o Indicador da Força do Sinal Recebido (RSSI - do Inglês *Received signal strength indicator*) para estimar a proximidade entre o dispositivo *iBeacon* e o usuário. Com base na força do RSSI, o usuário é classificado em regiões imediatas (<1m), próximas (1-3m), distantes (>3m) e desconhecidas [Zafari et al. 2019].

2.2. Trabalhos Correlatos

Uma avaliação prévia das literaturas seguintes foi realizada através de uma seleção de artigos publicados nos últimos anos:

Em [Ruffa et al. 2015] são elencados os diversos benefícios sociais que traz consigo o desenvolvimento e uso de *Beacons*. Os autores contam com a parceria da Associação Dinamarquesa de Cegos e elencam, a modo de exemplo, os diversos dispositivos que foram instalados na Europa. Por outro lado, os autores procuram determinar as implicações, oportunidades e barreiras em relação à introdução desta tecnologia em Copenhague.

No estudo de [Bie et al. 2016], foi desenvolvido um protótipo de aplicativo que oferece aos usuários instruções quando estão nas proximidades de um *beacon*. O sistema foi testado em um ambiente externo, fornecendo informações sobre perigos potenciais à frente e pontos de referência nas proximidades. Cinco pessoas com deficiência visual participaram dos testes ao longo de uma rota em Amsterdam, com o objetivo de avaliar a sensação de segurança proporcionada pelo sistema. Os resultados indicaram que os participantes se sentiram mais seguros ao utilizar o aplicativo, especialmente ao atravessar estradas com semáforos.

No trabalho de [Korial and Abdullah 2016], foi proposta uma nova estrutura para auxiliar deficientes visuais e cegos, utilizando beacons e smartphones. A estrutura é composta por três partes: o módulo ESP8266, um aplicativo configurador para programar os beacons, e um aplicativo móvel para detectá-los. Três testes foram realizados em um ambiente doméstico real. Os autores relataram que o esquema sugerido apresentou bom desempenho, permitindo que os deficientes visuais localizassem dispositivos domésticos como TV, geladeira e dispensador de água com sucesso e sem erros.

No trabalho de [Cheraghi et al. 2017], é apresentado um sistema de orientação interna chamado GuideBeacon, destinado a cegos, deficientes visuais e pessoas desorientadas, que auxilia na navegação entre quaisquer dois pontos em ambientes internos. O sistema GuideBeacon permite que usuários equipados com smartphones interajam com beacons baseados em Bluetooth de baixo custo, implantados estrategicamente no espaço

interno de interesse, facilitando a navegação em seus arredores. Os autores demonstram o uso do GuideBeacon como um complemento a outros recursos, como a bengala inteligente e até o cão-guia.

No trabalho de [Guerreiro et al. 2019] é apresentado um sistema de navegação baseado em *beacon Bluetooth Low Energy (BLE)* para apoio a pessoas com deficiência visual. Os testes foram realizados nos ambientes de um aeroporto, onde diversos *beacons* foram instalados para que o indivíduo pudesse ter a experiência de realizar sua viagem de forma independente. Os autores mencionam que a tarefa foi desafiadora e que os participantes conseguiram completar seu itinerário de forma independente, apresentando nenhum ou poucos erros de navegação e horários razoáveis.

As referências indicam que o tema abordado é atual e relevante. Este levantamento da literatura destaca que o desenvolvimento de Tecnologias Assistivas pode promover a inclusão efetiva de pessoas com deficiência.

3. Materiais e Métodos

Inicialmente, foram identificados e selecionados os dispositivos embarcados mais adequados para este projeto. Após uma análise comparativa entre dispositivos programáveis existentes no mercado, incluindo critérios de baixo custo e comunicação de dados sem fio, foi escolhida a placa ESP32 como a mais indicada. O ESP32, do fabricante Espressif Systems, é uma plataforma programável desenvolvida e projetado para aplicações de automação e especialmente para Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*).

A placa ESP32 comparada a outras plataformas, destaca-se por seu baixo consumo de energia. Para este projeto foi utilizado o modelo ESP32 DevKit v1 de 30 pinos, que possui 25 portas GPIO, 3 interfaces SPI, 2 I2S, 18 canais ADC de 12 bits de resolução, 3 UART, e 10 pinos de leitura capacitiva, além de suporte a PWM (do Inglês *Pulse Width Modulation*). Possui também memória SRAM de 520 KB, memória flash de 4 MB, dois núcleos de processamento com arquitetura Tensilica Xtensa LX6 e suporte a Bluetooth tanto Clássico quanto BLE (*Bluetooth Low Energy*)². A principal diferença entre Bluetooth Clássico e *Bluetooth Low Energy (BLE)* reside na forma como cada um é projetado e otimizado para diferentes tipos de aplicações.

No ambiente, além do *beacon0*, que acompanha a pessoa, existem os *beacon1*, *beacon2* e *beacon3*. A metodologia adotada é uma arquitetura em que o *beacon0* contém um ESP32, um módulo DFPlayer Mini MP3 e um mini alto-falante de 1W/8 Ohms de 6,5 cm de diâmetro, além de um cartão microSD de 32GB. Este *beacon0* reproduz mensagens sonoras para orientar o usuário com deficiência visual. Os *beacons* 1, 2 e 3, também equipados com ESP32, são dispositivos auxiliares posicionados em locais estratégicos para transmitir sinais de localização ao *beacon0*, permitindo a pessoa a navegação guiada em ambientes internos. A Figura 1 ilustra a configuração dos quatro ESP32's utilizados na abordagem.

²Manual de arquitetura Bluetooth do ESP32 sobre o *iBeacon*: (https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_bluetooth_architecture_en.pdf)

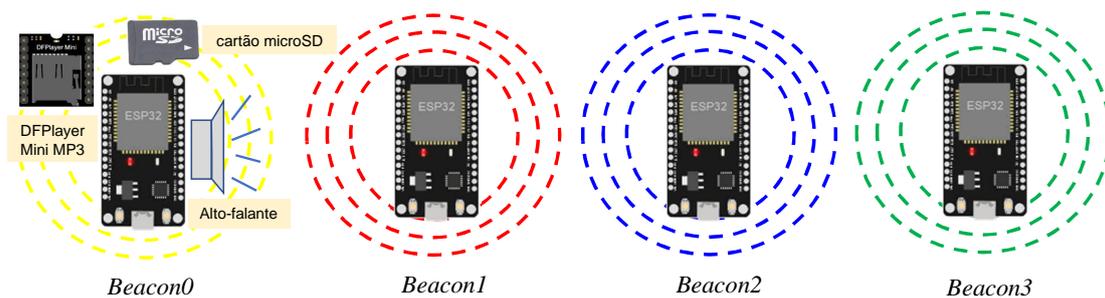


Figura 1. Cada Beacon possui um raio de alcance do sinal para emissão/recepção através da tecnologia Bluetooth de tipo BLE.

4. Resultados e discussão

4.1. Programação dos beacons

A programação de todos os *beacons* como servidores *BLE* foi realizada com êxito. O desenvolvimento do código para a configuração do servidor *BLE* possibilitou que cada *beacon* transmitisse seus dados continuamente, assegurando que todos os dispositivos nas proximidades pudessem detectar sua presença de forma confiável. A eficácia dessa comunicação foi validada por meio de testes rigorosos de captação de dados, que confirmaram que a distância de transmissão desejada foi consistentemente alcançada. A Figura 2 apresenta o diagrama de fluxo da programação utilizada para todos os *beacons*.

4.2. Conexão com o módulo de som e alto-falante

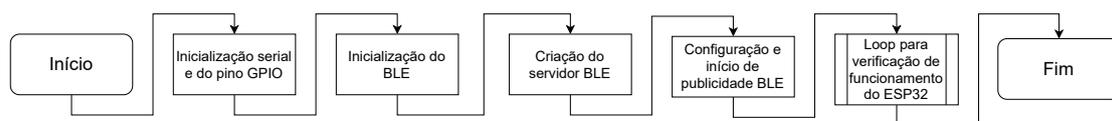
A integração do *beacon0* com o módulo de som, modelo DFPlayer Mini MP3, também foi bem-sucedida. No cartão microSD foram gravados três arquivos de áudio de extensão MP3 para reprodução no momento da aproximação. Estes arquivos estão relacionados a cada um dos *beacons* fixos, tendo assim, cada *beacon* seu áudio de reprodução específica. Durante os testes, observamos que ao estarem próximos 2 *beacons* e estabelecerem comunicação, o áudio pré-gravado no cartão SD correspondente a esse *beacon* foi reproduzido. Esse processo se baseia em um *loop* de varredura, no qual o módulo busca os dispositivos *BLE* mais próximos. Caso nenhum *beacon* fixo (1, 2 ou 3) fosse identificado, o *beacon0* não irá reproduzir áudio através do alto-falante, demonstrando a funcionalidade do sistema em identificar e reproduzir o áudio correspondente.

4.3. Definindo raio de cobertura ou alcance entre os beacons

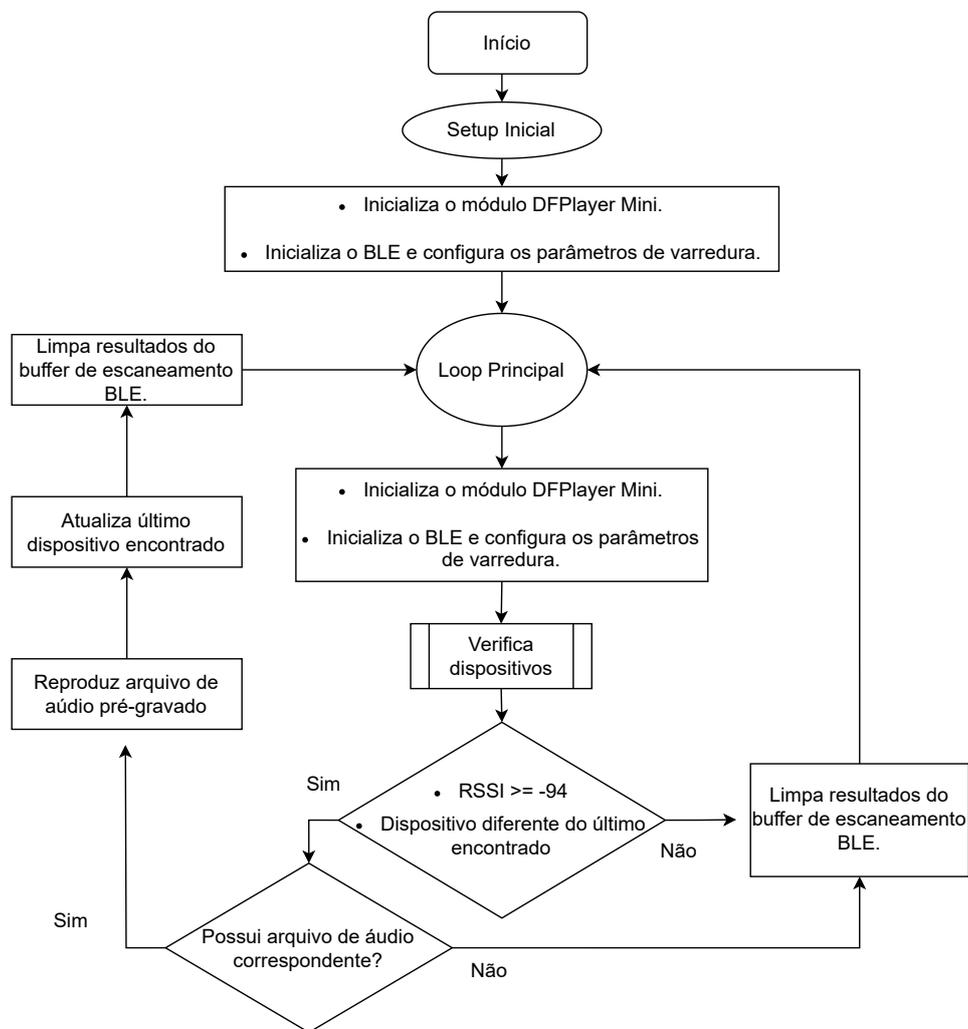
A limitação do raio de cobertura de transmissão foi outro aspecto fundamental do nosso estudo. Foi observado a necessidade da modificação da potência para alcançar o melhor alcance de comunicação entre os *beacons*.

A potência de transmissão de um dispositivo *BLE*, como o ESP32, determina a força com que os sinais de rádio são emitidos. Uma potência mais alta geralmente resulta em um alcance maior, mas também em um maior consumo de energia. Por outro lado, uma potência mais baixa reduz o consumo de energia, mas também diminui o alcance.

O ESP32 permite configurar diferentes níveis de potência para ajustar o alcance e o consumo de energia de acordo com a necessidade da aplicação. Os níveis de potência típicos que podem ser configurados no ESP32 variam de -12 dBm (decibéis), onde seria



(a)



(b)

Figura 2. Diagrama de fluxo da programação dos *beacons*: (a) Referente aos *beacon1*, *beacon2* e *beacon3*; (b) Referente ao *beacon0*

uma taxa de baixo consumo de energia e alcance curto, sendo ideal para aplicações onde o dispositivo está muito próximo ao ponto de acesso e a economia de energia é crucial, a 9 dBm (decibéis), que seria uma alta potência, de maior alcance, adequado para cenários onde é necessário um alcance maior, porém, consumindo mais energia.

Sabendo desses detalhes, foi configurada a potência de transmissão do *beacon* para -12 dBm utilizando a função `esp_ble_tx_power_set()` da biblioteca `esp_bt.h`, que permite ajustar a taxa de transmissão, em decibéis, do ESP32. Após vários testes, foi concluído que definir a taxa como -12 dBm era a melhor opção, sendo a menor taxa possível

para o ESP32 sem a necessidade de periféricos adicionais, e estabelecia uma conexão boa e próxima entre os ESP32's.

Além disso, foi monitorado o RSSI, que é a medida da potência do sinal recebido em um dispositivo de rádio, expressa em decibéis milivatts (dBm). Um valor de RSSI mais alto, como -30 dBm, indica um sinal forte, enquanto um RSSI de -90 dBm indica um sinal fraco. No contexto do *BLE*, o RSSI é essencial para entender a qualidade da conexão entre dispositivos. Com base em testes de proximidade, foi determinado que -94 dBm era o valor mais consistente para garantir uma distância de comunicação entre 2,5 m e 3 m. Assim, a faixa de som foi configurada para ser reproduzida apenas quando o RSSI fosse maior ou igual a -94 dBm. Isso limitou a transmissão de dados dos *beacons* a distancia desejada. Os testes confirmaram que o módulo de som não transmitia ruídos fora dessa faixa ou em momentos de picos de transmissão, validando a precisão da nossa configuração.

4.4. Testes técnicos realizados do protótipo

Para esta etapa, foram realizados testes técnicos para validar os protótipos do sistema. Os resultados obtidos foram consistentes e satisfatórios, alinhados com as expectativas teóricas.

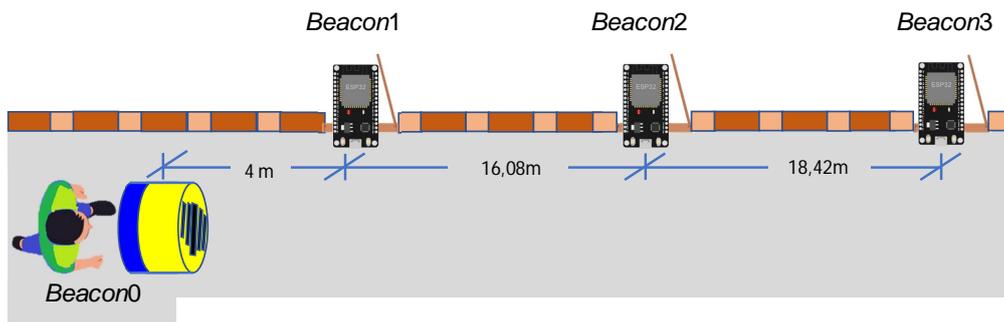
A Figura 3, mostra o posicionamento dos *beacons* (indicados nos círculos amarelos) num corredor de aproximadamente 38,5 metros. O teste começou com a movimentação do *beacon0* no sentido esquerda para a direita (conforme Figura 3(a)), e tendo como posição inicial uma distância de cerca de 4 metros do *beacon1*. Conforme mostrado na Figura 3(a), o trajeto foi realizado para captar os sinais dos *beacons* fixados ao longo do corredor. Durante os testes, os valores de RSSI foram monitorados continuamente, permitindo o cálculo das médias das distâncias de recepção dos sinais confirmados pela reprodução do áudio respectivo. Os resultados obtidos foram: $2,87 \pm 0,44$ metros para o *beacon1*, $2,70 \pm 0,51$ metros para o *beacon2* e $2,40 \pm 0,37$ metros para o *beacon3*, como ilustrado na Figura 4.

A transmissão e captação de dados ocorreram conforme planejado, e a reprodução de áudio pré-gravado no módulo de som foi a correta dentro da faixa de distância estabelecida. Esses resultados demonstram a viabilidade e eficiência da implementação da nossa aplicação *beacon* dentro do contexto das tecnologias assistivas.

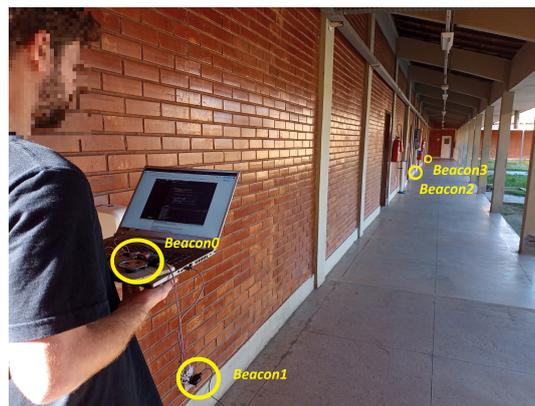
Para este protótipo foi desenvolvido um encapsulamento dos circuitos dos *beacons* através de tecnologia de impressão 3D, especificamente a técnica de Modelagem de Deposição Fundida (FDM). Diversos protótipos foram inicialmente testados e descartados, finalmente foi impresso um encapsulamento em Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) conforme pode ser observado na Figura 5.

5. Conclusões

Os testes realizados demonstraram a viabilidade do sistema proposto, oferecendo uma tecnologia assistiva de apoio à locomoção para pessoas com algum tipo de deficiência visual através do uso de *beacons*. O *beacon0*, equipado com um módulo DFPlayer e alto-falante, reproduzia mensagens sonoras sempre que estava próximo de outros *beacons* posicionados em distâncias controladas.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Posicionamento dos *Beacons* para realização dos testes de identificação. (b) Posicionamento dos *Beacons* (nos círculos amarelos) nos testes reais.

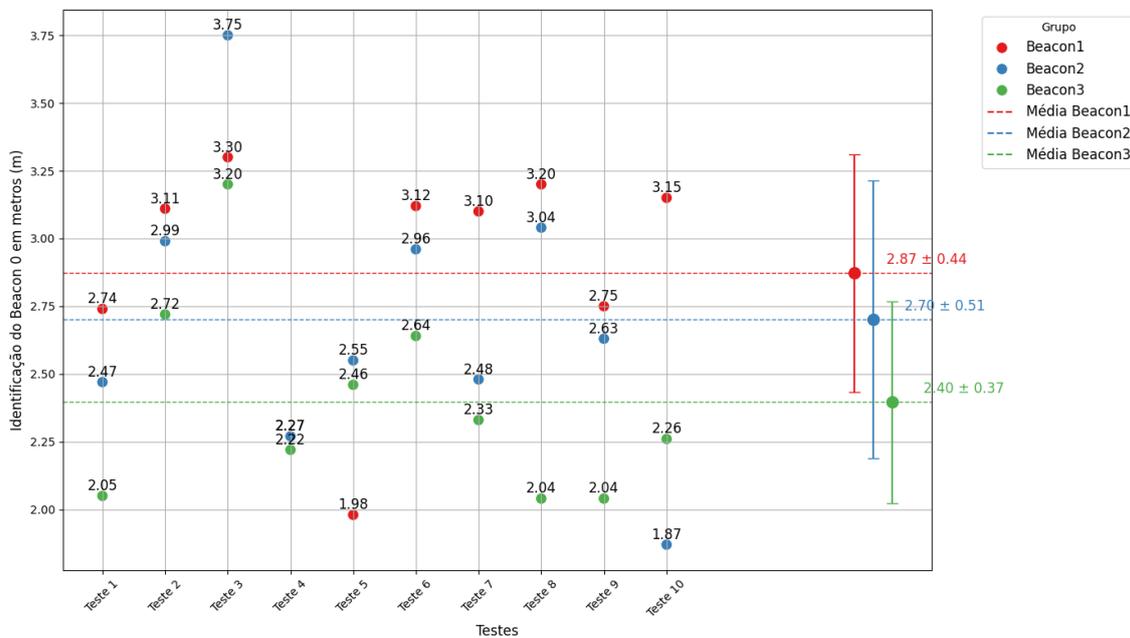


Figura 4. Testes realizados da identificação do *Beacon 0* pelo *Beacon 1, 2 e 3* metros junto com a média e desvio padrão.

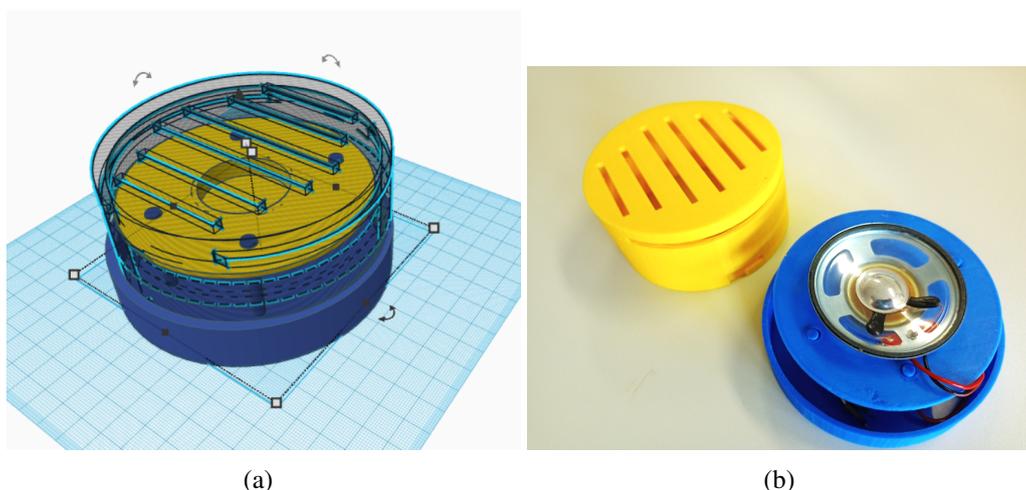


Figura 5. (a) Desenvolvimento da modelagem da case na plataforma Tinkercad (b) Impressão do case e todos os componentes acoplados ao case.

Além disso, a configuração envolveu o uso de *beacons* auxiliares numerados como 1, 2 e 3, que foram estrategicamente posicionados e ajustados para uma potência de -12dBm, resultando em um alcance de 2 a 3 metros, para garantir uma navegação precisa e eficiente para usuários com deficiência visual. A presença desses *beacons* auxiliares contribuiu significativamente para a criação de um ambiente de navegação assistida, possibilitando uma orientação espacial mais precisa e facilitando a interação com o ambiente.

Os resultados obtidos não apenas corroboraram as expectativas teóricas, mas também forneceram evidências sólidas da viabilidade da tecnologia *beacon* em aplicações assistivas. Os resultados mostram-se promissores para futuras pesquisas e desenvolvimentos na área de automação e acessibilidade.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio de todas as instituições que contribuíram com o desenvolvimento deste projeto. O aluno Enthoni A. F. Serafim agradece à Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela bolsa ICT - Iniciação Científica e Tecnológica (Edital FAPES N° 09/2023 - PIBICES 2023). A aluna Julia Sagrillo Barreiros agradece ao CNPq pela Bolsa Iniciação Científica Júnior - ICJ (n° 145846/2023-7). Os autores Luca da G. Wyatt, Julia S. Barreiros e Ana L. A. da S. do Nascimento agradecem ao Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) pelas bolsas de Iniciação Científica do Programa PICTI (Edital PRPPG 03/2023).

Referências

- Bie, J. v. d., Visser, B., Matsari, J., Singh, M., Hasselt, T. v., Koopman, J., and Kröse, B. (2016). Guiding the visually impaired through the environment with beacons. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct (UbiComp '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY.
- Cheraghi, S. A., Namboodiri, V., and Walker, L. (2017). Guidebeacon: Beacon-based indoor wayfinding for the blind, visually impaired, and disoriented. In *2017 IEEE Inter-*

- national Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pages 121–130.
- Fard, H. K., Chen, Y., and Son, K. K. (2015). Indoor positioning of mobile devices with agile ibeacon deployment. In *2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, pages 275–279.
- Guerreiro, J. a., Ahmetovic, D., Sato, D., Kitani, K., and Asakawa, C. (2019). Airport accessibility and navigation assistance for people with visual impairments. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19*, page 1–14, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Huang, C.-Y., Wu, C.-K., and Liu, P.-Y. (2022). Assistive technology in smart cities: A case of street crossing for the visually-impaired. *Technology in Society*, 68:101805.
- Korial, A. E. and Abdullah, M. N. (2016). Novel method using beacon and smart phone for visually impaired/blind people. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, 137(1).
- Lin, M. Y.-C., Nguyen, T. T., Cheng, E. Y.-L., Le, A. N. H., and Cheng, J. M. S. (2022). Proximity marketing and bluetooth beacon technology: A dynamic mechanism leading to relationship program receptiveness. *Journal of Business Research*, 141:151–162.
- Mai, C., Chen, H., Zeng, L., Li, Z., Liu, G., Qiao, Z., Qu, Y., Li, L., and Li, L. (2024). A smart cane based on 2d lidar and rgb-d camera sensor-realizing navigation and obstacle recognition. *Sensors*, 24(3).
- Retnowati, Y. and Budi, A. H. S. (2018). Smart cane using espectro with gps tracking system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384(1):012054.
- Ruffa, A. J., Zonfrelli, T. A., Stevens, A. M., and Woodward, N. K. (2015). Assessing ibeacons as an assistive tool for blind people in denmark. worcester polytechnic institute. Technical report, Worcester Polytechnic Institute (WPI).
- WHO, W. H. O. (2019). World report on vision. Technical Report Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, Geneva.
- WHO, W. H. O. and UNICEF, U. N. C. F. (2022). Global report on assistive technology. Technical Report Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO., Geneva.
- Zafari, F., Gkelias, A., and Leung, K. K. (2019). A survey of indoor localization systems and technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3):2568–2599.