

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO ASSISTENCIAL BASEADO EM MICROCONTROLADOR PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA

João Victor da Silva

Resumo: O desenvolvimento de tecnologias assistivas tem um papel fundamental na inclusão de pessoas com deficiência, tornando possível sua participação ativa na sociedade. No caso das pessoas surdas, tais tecnologias são essenciais para contornar barreiras comunicacionais e garantir maior independência. A proposta deste estudo é a criação de uma babá eletrônica adaptada para pais surdos, baseada em sinais visuais e táteis. O sistema funciona por meio de um sensor de som que capta o choro do bebê e envia os dados para um microcontrolador ESP32, que processa as informações e aciona alertas luminosos (LEDs) e vibração (*vibra calls*), garantindo a percepção dos pais sobre a necessidade do bebê. A utilização de interfaces tátil-visuais é um diferencial, permitindo que o dispositivo se adapte às necessidades específicas desse público. A construção do protótipo seguiu uma abordagem metodológica estruturada, contemplando a definição dos requisitos técnicos, a integração dos componentes eletrônicos e a programação do ESP32. A conectividade sem fio do microcontrolador possibilita um monitoramento eficiente e de baixo custo, contribuindo para uma solução inovadora e acessível dentro do campo das tecnologias assistivas.

Palavras-chave: Pessoas com deficiência auditiva; babá eletrônica; microcontrolador ESP32; dispositivo eletrônico; acessibilidade.

Abstract: The development of assistive technologies plays a fundamental role in the inclusion of people with disabilities, enabling their active participation in society. In the case of deaf people, such technologies are essential to overcome communication barriers and ensure greater independence. The aim of this study is to create a baby monitor adapted for deaf parents, based on visual and tactile signals. The system works through a sound sensor that captures the baby's crying and sends the data to an ESP32 microcontroller, which processes the information and triggers light alerts (LEDs) and vibration (*vibra calls*), ensuring that parents are aware of the baby's needs. The use of tactile-visual interfaces is a differential, allowing the device to adapt to the specific needs of this audience. The construction of the prototype followed a structured methodological approach, including the definition of technical requirements, the integration of electronic components and the programming of the ESP32. The microcontroller's wireless connectivity enables efficient and low-cost monitoring, contributing to an innovative and accessible solution within the field of assistive technologies.

Keywords: People with hearing impairment; baby monitor; ESP32 microcontroller; electronic device; accessibility.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, aproximadamente 5% da população – o que equivale a mais de 10 milhões de pessoas – apresenta algum grau de deficiência auditiva, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essa condição, que varia desde perdas auditivas parciais até casos severos, impõe barreiras significativas ao acesso à comunicação e à integração social. A comunicação interpessoal, elemento essencial para o desenvolvimento individual e coletivo, torna-se ainda mais desafiadora para aqueles que dependem de sistemas alternativos, como a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). Embora a LIBRAS seja um recurso valioso, sua utilização é restrita a um grupo específico, limitando a interação plena entre a comunidade surda e a população ouvinte [1].

Entre os diversos contextos impactados pela deficiência auditiva, o ambiente familiar se destaca, especialmente no cuidado infantil. Bebês, que ainda não desenvolveram a fala, manifestam suas necessidades e emoções principalmente por meio do choro – um sinal inato que permite aos pais identificar situações de desconforto, fome ou irritação. Para pais surdos, entretanto, a interpretação desse sinal torna-se complexa, pois os aparelhos auditivos convencionais ou dispositivos de amplificação não oferecem uma conversão eficiente do estímulo sonoro em um formato perceptível. Essa limitação pode comprometer não apenas a segurança e o bem-estar da criança, mas também a qualidade da interação e do vínculo afetivo no ambiente familiar [2].

Adicionalmente, no contexto das relações familiares envolvendo pais surdos, diferentes tipologias já foram identificadas na literatura, como pais surdos com filhos surdos ou pais surdos com filhos ouvintes, entre outras combinações [3]. Independentemente da variação, o desafio central reside na necessidade de proporcionar uma interface de comunicação que permita a esses pais responderem prontamente às necessidades de seus filhos, sobretudo durante os primeiros anos de vida, onde o choro é a principal forma de expressão do bebê.

Ao tratar-se sobre envolvimento parental na comunidade surda, Nogueira (2019, p.30) analisa um amplo leque de tipologias familiares possíveis:

“pais ouvintes/filhos surdos (PO/ FS), famílias, em que um dos progenitores é surdo e o outro ouvinte, com filhos ouvintes (POS/FO), com um dos progenitores surdo e o outro ouvinte, com filhos surdos (POS/FS), pais surdos/ filhos surdos (PS/FS) e, pais surdos/filhos ouvintes (PS/ FO)”

Observa-se, ainda, que as soluções tecnológicas atualmente disponíveis, como as babás eletrônicas convencionais, replicam o sinal sonoro captado pelos microfones, sendo eficazes apenas para a população que possui audição normal. Dessa forma, essas soluções não atendem à demanda específica da comunidade surda, reforçando a necessidade de dispositivos assistenciais que convertam os estímulos sonoros em sinais alternativos, como alertas visuais e táteis.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de babá eletrônica assistencial baseado no microcontrolador ESP32. A escolha pelo ESP32 justifica-se por suas características técnicas: baixo custo, alto desempenho, capacidade de processamento, e funcionalidades integradas de conectividade Wi-Fi e Bluetooth. Esses atributos o tornam uma plataforma ideal para a implementação de sistemas embarcados em aplicações de Internet das Coisas (IoT) voltadas para dispositivos assistenciais.

O protótipo em desenvolvimento contará com sensores de som capazes de captar os sinais emitidos pelo choro do bebê. Estes sinais serão processados pelo ESP32, que, por sua vez, utilizará sua conectividade para transmitir os dados para um dispositivo receptor localizado junto aos pais. Este dispositivo receptor converterá os dados em alertas perceptíveis por meio de sinais luminosos (através de LEDs) e vibrações táteis, permitindo que os pais surdos sejam imediatamente informados sobre as necessidades de seu filho.

A programação do microcontrolador será realizada em C/C++, utilizando uma plataforma de desenvolvimento integrada que possibilita a criação de comandos de entrada e saída de forma eficiente e robusta. Essa abordagem técnica não só assegura a confiabilidade do protótipo, como também proporciona flexibilidade para futuras expansões ou adaptações do sistema, integrando, por exemplo, funcionalidades adicionais de monitoramento e controle.

A relevância deste trabalho se manifesta em diversos aspectos. Primeiramente, ele aborda uma lacuna significativa no mercado de dispositivos assistenciais, promovendo a inclusão social e melhorando a comunicação entre pais surdos e seus filhos. Em segundo lugar, ao utilizar tecnologias de IoT e microcontroladores modernos, o projeto contribui para o avanço das pesquisas na área de eletrônica aplicada à assistência e à automação residencial. Por fim, a proposta reforça o compromisso com a inovação tecnológica, evidenciando a importância de soluções interdisciplinares que integrem conhecimentos de engenharia elétrica, programação e design de sistemas assistenciais.

Em síntese, o desenvolvimento deste protótipo não apenas busca solucionar um problema prático enfrentado por uma parcela significativa da população, mas também estimula o diálogo entre áreas do conhecimento, ampliando as possibilidades de aplicações tecnológicas em prol da acessibilidade e da inclusão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa desenvolvida neste estudo adota uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos para garantir uma análise abrangente do desempenho e da eficácia do protótipo de babá eletrônica assistencial com ESP32. O desenho metodológico utilizado é experimental, uma vez que foram realizados testes controlados para validar o funcionamento do dispositivo, bem como exploratório e descritivo, pois buscou-se compreender as limitações do sistema, suas possíveis melhorias e sua aplicabilidade prática.

Além disso, a população estudada consiste em bebês recém-nascidos e lactentes, que representam o público-alvo do dispositivo. No entanto, devido à natureza do estudo e às limitações éticas envolvidas, a amostra foi composta por dados sonoros previamente gravados e disponibilizados em bancos de dados online, garantindo

um ambiente controlado para a realização dos experimentos. A escolha dessas amostras sonoras considerou diferentes intensidades e padrões de choro, permitindo uma avaliação mais precisa da sensibilidade do sensor de som utilizado no protótipo.

Nesse sentido, a coleta de dados foi realizada por meio de experimentos em laboratório, onde o protótipo foi submetido a diferentes estímulos sonoros para avaliar sua capacidade de detecção e resposta. Sons de bebês chorando foram reproduzidos em alto-falantes, e a reação do dispositivo foi registrada com base no tempo de ativação dos alertas visuais e táteis. Além disso, foram coletados dados sobre o desempenho do ESP32 na execução dos comandos programados, incluindo a latência do sistema e a estabilidade da comunicação entre os componentes eletrônicos.

Acrescente a isso, a metodologia adotada para este trabalho seguiu uma sequência lógica que permitiu a execução de cada etapa de forma integrada e sistemática, concentrando-se na definição, implementação e validação do protótipo de babá eletrônica assistencial com ESP32. Inicialmente, foram especificados os requisitos técnicos e funcionais do dispositivo a partir de consultas a fontes especializadas e análises das necessidades do público-alvo, o que possibilitou a criação de diagramas de blocos e esquemas elétricos utilizando softwares de CAD eletrônico.

Os instrumentos de pesquisa utilizados incluíram o ESP32, responsável pelo processamento das informações e acionamento dos alertas, sensores de som para a detecção do choro, módulos de comunicação sem fio para possíveis integrações futuras, além de LEDs e motores de vibração, que foram empregados como mecanismos de alerta. O software Arduino IDE foi utilizado para a programação do microcontrolador, enquanto ferramentas de modelagem, como softwares de CAD eletrônico, auxiliaram no desenvolvimento dos diagramas de blocos e esquemas elétricos do protótipo.

Em seguida, passou-se para a montagem do protótipo, onde o ESP32 foi escolhido como a peça central, integrando componentes como o sensor de som, módulos de comunicação, LEDs e motores de vibração. A programação do microcontrolador foi realizada utilizando a IDE do Arduino, permitindo a implementação de comandos em C/C++ para a aquisição e processamento dos sinais, bem como para a conversão desses sinais em alertas visuais e táteis. Durante a programação, fluxogramas foram elaborados para ilustrar o fluxo lógico de operação, desde a captação do sinal sonoro até a emissão dos alertas, facilitando a identificação de eventuais gargalos no sistema.

Para a fase de testes, utilizaram-se sons de bebês adquiridos na internet, que serviram para simular as condições reais de um choro em ambiente controlado. Foram realizados experimentos para ajustar o tempo de resposta do sistema, a sensibilidade do sensor e a eficácia dos alertas, tanto visuais quanto táteis. Essa análise permitiu identificar possíveis discrepâncias e realizar ajustes na integração dos componentes e na programação.

Por fim, em relação aos aspectos éticos, vale destacar que, por se tratar de um estudo experimental conduzido em ambiente controlado e sem a participação direta de seres humanos, não houve necessidade de submissão a comitês de ética. No entanto, todas as diretrizes de boas práticas em pesquisa foram seguidas, garantindo a transparência na coleta e análise dos dados, bem como a confiabilidade dos resultados obtidos.

Dessa forma, a metodologia empregada neste estudo assegura uma abordagem robusta para a concepção, desenvolvimento e validação do protótipo de babá eletrônica assistencial, fornecendo subsídios técnicos e científicos para futuras melhorias e aplicações do dispositivo.

Ao longo do desenvolvimento, o processo iterativo foi fundamental, permitindo que, com base nos resultados obtidos nos testes, fossem realizadas melhorias contínuas no protótipo. Essa abordagem garantiu a adequação do dispositivo aos requisitos estipulados inicialmente e demonstrou a eficácia do sistema para a finalidade proposta. Em síntese, a metodologia empregada, que abrangeu desde a modelagem e montagem do protótipo até a validação experimental por meio de testes controlados e análise de dados, se mostrou robusta e eficaz para a implementação de uma solução assistencial inovadora em engenharia elétrica.

3. RESULTADOS

Inicialmente, faz-se necessário abordar os resultados obtidos através da análise bibliográfica acerca do tema proposto. A revisão da literatura permitiu compreender os principais conceitos relacionados ao desenvolvimento de dispositivos assistenciais baseados em microcontroladores, bem como identificar desafios e soluções já exploradas em estudos anteriores. Essa etapa foi fundamental para embasar as decisões de projeto, garantindo que o protótipo desenvolvido estivesse alinhado com as melhores práticas e inovações tecnológicas disponíveis.

Em seguida, são apresentados os resultados dos testes experimentais realizados com o protótipo de babá eletrônica assistencial. Os dados coletados foram analisados quantitativamente, permitindo avaliar o desempenho do sistema em termos de tempo de resposta, precisão na detecção do choro e eficácia dos alertas visuais e táteis. Além disso, a análise qualitativa proporcionou insights importantes sobre a estabilidade do funcionamento do dispositivo e possíveis melhorias para otimizar sua eficiência.

Os resultados obtidos são discutidos à luz dos objetivos estabelecidos, verificando se o protótipo atendeu às expectativas iniciais e quais ajustes podem ser recomendados para aprimoramentos futuros. A seguir, são detalhadas as principais observações e análises decorrentes da implementação e validação do sistema.

3.1 O valor das tecnologias assistivas para pessoas surdas.

A tecnologia faz parte da realidade das pessoas desde muito tempo e trabalha com um conjunto de técnicas e conhecimento desenvolvidas para beneficiar e facilitar ações cotidianas. Por vezes não percebemos, mas estamos rodeados dessas tecnologias como por exemplo os talheres, calculadoras, computadores, automóveis, lanternas, relógios, etc. Radabaugh (1993) [4] apresenta uma diferenciação no que tange a realidade de vida das pessoas junto ao objetivo para que está sendo desenvolvida cada tecnologia, quando diz que “para as pessoas sem deficiência a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis”. Diante desse comentário, podemos pensar sobre uma tipologia distinta, já dissimulada e usada chamada de tecnologia assistiva, definida pela Secretaria Especial dos Direitos Humanos:

“Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.” (BRASIL, 2007). [5]

Tendo em vista as barreiras provocadas pela surdez, aplicações tecnologias assistivas são desenvolvidas para facilitar a vida das PcD auditiva como é o caso dos aparelhos auditivos amplificadores. Apesar desses aparelhos serem indispensáveis, o dispositivo não consegue proporcionar ao paciente a audição em níveis normais. Dessa forma, Nielsen (1999, p.46) refere que “Além dos apoios auditivos, é pertinente realçar avanços tecnológicos e dispositivos no campo das telecomunicações que promovem um aumento da independência desta comunidade” Assim, inúmeros outros dispositivos são aprimorados e moldados para que atendam às necessidades de PcD [6].

A babá eletrônica para surdos é uma dessas adaptações, já que com algumas adaptações, primordialmente atende ao mesmo objetivo, além de apresentar uma funcionalidade semelhante. Por exemplo, as babás eletrônicas convencionais, captam o som do bebê e replicam o sinal sonoro. Contudo, a surdez requer outros tipos de sinais, assim, ao invés de apenas replicar o sinal da frequência sonora do choro do bebê, ela deverá ser capaz de captar a frequência sonora através de sensores de som próximos ao bebê e depois enviar um sinal via rádio frequência bluetooth a um outro dispositivo que está próximo aos pais surdos, emitindo um sinal luminoso (LED) e uma vibração capazes de despertar ou alertar aos pais do choro do bebê e das suas possíveis necessidades.

3.2 Sinais e interfaces tátil-visuais

A interação e comunicação das pessoas de modo geral envolve competências cognitivas, sociais e afetivas que estão intrínsecas às individualidades e particularidades relacionadas a realidade familiar e desenvolvimento das habilidades do indivíduo. Dessa maneira, a percepção dos estímulos externos se dá principalmente através dos cinco sentidos humanos: visão, gustação, olfação, tato e audição. (Gandelman; Mendes, 2014) [7].

Pessoas com deficiência podem ter algumas barreiras quanto a relações sociais e comunicativas, como é o caso de pessoas surdas que apresentam ausência de reação a sons. Para desvencilhar a barreira da audição são utilizados tipos variados de comunicação que segundo Nogueira (2019, pág. 39):

“O tipo de comunicação utilizado pode depender consequentemente de várias variáveis, tais como: a tipologia familiar, o grau e tipo de surdez, a adaptação aos apoios auditivos e a aceitação do diagnóstico.” [8]

Nesse sentido, a percepção dos estímulos externos para pessoas surdas se dá através de quatro sentidos, já

que estímulos baseados audição são ineficientes. Todos esses aspectos são importantes a serem considerados no desenvolvimento de tecnologias assistivas para pessoas surdas, aplicando estímulos viáveis e concordantes com o processo cognitivo do surdo. Trabalhos como os de (CLAVISSO et al., 2017) e (Galdeman; Mendes, 2014) que desenvolvem respectivamente campanhas e despertadores para surdos demonstram que interfaces táteis e visuais são costumeiramente utilizadas na construção e idealização de TA para pessoas com surdez [9].

A partir dessas informações torna-se evidente a importância de explorar os sentidos tato e visão no funcionamento da babá eletrônica proposta, levando em conta a praticidade intrínseca ao protótipo. No funcionamento do protótipo se dará pela substituição de sinais sonoros do bebê por sinais luminosos e táteis por meio de motores de vibração dispostos próximos aos pais servindo de alerta tátil-visual ao choro do bebê.

3.3 Funcionamento da babá eletrônica e aspectos construtivos

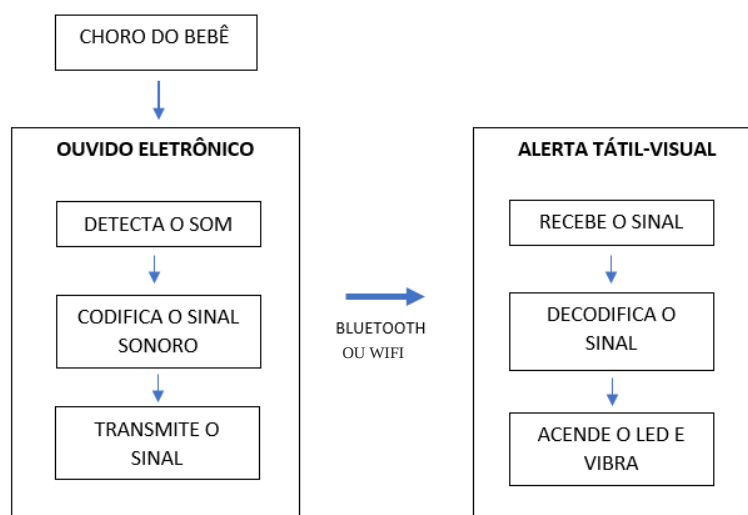
O funcionamento da babá eletrônica assistencial baseia-se na captação e processamento de sinais sonoros para fornecer alertas visuais e táteis aos responsáveis. Para isso, foram integrados sensores, microcontroladores e módulos de comunicação, garantindo uma resposta rápida e eficiente sempre que o choro do bebê for detectado. A seguir, detalha-se o diagrama de funcionamento e os principais aspectos construtivos do dispositivo.

3.3.1. Diagrama de funcionamento

O diagrama de funcionamento descreve as principais etapas do sistema, desde a detecção do som até a emissão dos alertas. Inicialmente, um sensor de som monitora o ambiente e identifica padrões acústicos característicos do choro do bebê. Esses sinais captados são enviados ao microcontrolador ESP32, que processa as informações em tempo real e determina se o som detectado corresponde a um choro genuíno.

Uma vez validado o evento, o ESP32 utiliza sua conectividade integrada para transmitir os dados a um dispositivo receptor posicionado próximo aos pais ou responsáveis. Esse receptor, por meio de um conjunto de LEDs e um motor de vibração, gera alertas visuais e táteis, assegurando que os cuidadores sejam notificados de maneira eficiente, mesmo em ambientes ruidosos ou em situações em que estejam dormindo.

Além disso, o sistema pode ser ajustado para diferentes níveis de sensibilidade, permitindo a adaptação do dispositivo a diferentes perfis de usuários e ambientes. Esse mecanismo contribui para evitar falsos alarmes e garantir que a babá eletrônica opere de maneira confiável e precisa.



3.3.2. Arduino

O ESP32 é um microcontrolador avançado amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido à sua combinação de alto desempenho, baixo consumo de energia e conectividade sem fio integrada. Com uma arquitetura de processador dual-core, esse microcontrolador se destaca pela capacidade de realizar múltiplas tarefas simultaneamente, garantindo eficiência no processamento de dados em tempo real.

Além disso, sua compatibilidade com redes Wi-Fi e Bluetooth possibilita a comunicação ágil entre dispositivos, tornando-o uma escolha ideal para aplicações que exigem monitoramento remoto e resposta imediata.

Segundo Silva et al. (2020), o ESP32 se destaca por sua relação custo-benefício e flexibilidade, permitindo a integração de múltiplos sensores e atuadores em um único sistema. Essa característica é essencial para a babá eletrônica assistencial, pois possibilita a captação precisa de sinais acústicos, o processamento das informações e a ativação dos alertas visuais e táteis de maneira eficiente [10].

A programação do ESP32 pode ser realizada em linguagens como C e C++, utilizando ambientes de desenvolvimento como o ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) ou a IDE do Arduino, que possui suporte adaptado para esse microcontrolador. Essa flexibilidade no desenvolvimento possibilita tanto a implementação das funcionalidades essenciais do dispositivo quanto futuras melhorias, como a incorporação de novas interfaces, otimização do código e integração com aplicativos móveis para ampliar o controle e a personalização do sistema.

3.3.3. Sensor de som

O Sensor de Som KY-038 é amplamente utilizado em projetos de eletrônica embarcada e Internet das Coisas (IoT) que exigem a detecção de sons ambientais. Esse módulo é composto por um microfone de eletreto e um circuito de amplificação baseado em um amplificador operacional, permitindo a captação e o processamento de ondas sonoras. Ele oferece duas saídas distintas: uma digital, que aciona um sinal lógico alto quando o nível de som ultrapassa um limiar ajustável via potenciômetro, e uma analógica, que fornece uma variação contínua de tensão proporcional à intensidade sonora captada.

No protótipo desenvolvido, o KY-038 desempenha um papel fundamental ao captar o choro do bebê e converter essa informação em um sinal elétrico que é transmitido para o ESP32. Esse sinal é então processado pelo microcontrolador, que interpreta a variação da intensidade sonora e aciona os mecanismos de alerta conforme a necessidade. A sensibilidade do sensor pode ser ajustada para minimizar interferências e evitar falsos positivos oriundos de ruídos externos, garantindo maior precisão na identificação do choro.

Além disso, o sensor KY-038 permite ajustes personalizados para atender a diferentes necessidades do usuário, possibilitando a calibração do sistema para reconhecer apenas frequências específicas, como a faixa sonora característica do choro infantil. Essa funcionalidade contribui para tornar a babá eletrônica mais eficiente e confiável, reduzindo acionamentos desnecessários e aumentando a assertividade dos alertas emitidos.

3.3.4. Mecanismo de Alertas: LEDs e Vibracalls

Após o processamento do sinal sonoro pelo ESP32, a conversão desse estímulo em alertas perceptíveis ocorre por meio de dois mecanismos complementares:

Alertas Visuais: A utilização de LEDs de alta intensidade permite a emissão de sinais luminosos que garantem a rápida identificação do alerta, independentemente das condições de iluminação do ambiente. Esse recurso é especialmente útil para pais com deficiência auditiva ou em situações onde o som ambiente esteja elevado, dificultando a percepção de sinais sonoros.

Alertas Táteis: Motores de vibração, conhecidos como vibra calls, geram estímulos táteis que garantem a notificação do responsável mesmo quando este não está visualizando o dispositivo. Esse mecanismo é particularmente eficiente durante a noite, quando os pais podem estar dormindo, ou em momentos em que a atenção está voltada para outras atividades.

A combinação desses dois mecanismos resulta em uma abordagem multissensorial, que aumenta a eficiência da comunicação entre o dispositivo e o usuário. Segundo Clavisso et al. (2017), sistemas que integram diferentes formas de alerta aprimoram a percepção do usuário e reduzem o tempo de resposta em situações críticas [11].

Para garantir um funcionamento otimizado, os LEDs e motores de vibração foram configurados para operar em diferentes intensidades e padrões, possibilitando a distinção entre tipos de alerta. Por exemplo, um choro contínuo pode acionar um padrão de vibração mais longo e uma iluminação intermitente, enquanto um choro intermitente pode ativar pulsos mais curtos e frequentes. Essa personalização visa proporcionar uma experiência

mais intuitiva e eficaz aos pais ou responsáveis, garantindo que o sistema atenda de forma precisa às necessidades do bebê.

3.3.5. Integração e conectividade

Um dos grandes diferenciais do ESP32 é a sua capacidade de integrar múltiplas funções de conectividade sem a necessidade de módulos adicionais. Com suporte nativo a Wi-Fi, o dispositivo pode transmitir os dados processados de maneira eficiente para o receptor, garantindo comunicação sem fio em tempo real. Essa característica não apenas simplifica o projeto e reduz custos, mas também aumenta a confiabilidade do sistema, aspectos essenciais para o desenvolvimento de soluções assistenciais acessíveis e de alto desempenho.

conectividade Wi-Fi permite que o dispositivo envie sinais para outro ESP32, representando a detecção de som captada pelo sensor KY-037. Essa comunicação em tempo real possibilita uma resposta imediata no dispositivo receptor, que pode ativar um LED ou um buzzer para alertar sobre o evento detectado. Essa integração direta elimina a necessidade de conexões externas complexas e garante que o sistema seja funcional mesmo em ambientes com infraestrutura de rede limitada.

Além disso, a arquitetura de comunicação do ESP32 suporta a implementação de protocolos como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), garantindo a integridade e eficiência dos dados transmitidos. O uso de protocolos de baixa latência assegura que os sinais captados sejam enviados com rapidez e precisão, características essenciais para soluções assistenciais que exigem respostas imediatas.

Para aprimorar ainda mais a funcionalidade do sistema, podem ser incorporadas técnicas de otimização de energia, como a ativação de modos de economia do ESP32, ampliando a autonomia do dispositivo em aplicações sem fio. Dessa forma, a integração entre conectividade avançada, segurança na comunicação e eficiência energética torna o dispositivo assistencial uma solução robusta e inovadora no campo da automação assistiva.

3.4 Implementação

No dispositivo de envio, o ESP32 foi programado para realizar a leitura do sensor de som KY-037, conectado ao pino digital 14. O sensor KY-037 opera enviando um sinal digital quando a intensidade sonora excede o limiar ajustado, o que, no contexto do projeto, representa a detecção do som (por exemplo, o choro de um bebê). O código implementa uma lógica condicional que verifica essa leitura e, se o sinal for HIGH, publica a mensagem "1" em um tópico MQTT específico. Para garantir a robustez da comunicação, o ESP32 estabelece uma conexão com a rede Wi-Fi utilizando a IDE do Arduino, e em seguida se conecta ao broker MQTT. Após a publicação do sinal, o dispositivo entra em modo deep sleep, o que otimiza o consumo de energia e é uma característica essencial para aplicações IoT com restrição de recursos.

Já o dispositivo de recepção, implementado com o ESP8266, conecta-se à mesma rede Wi-Fi e ao broker MQTT, inscrevendo-se no tópico previamente configurado para receber as mensagens enviadas. Ao receber o payload "1", uma função de callback é acionada para processar a mensagem. Se o valor recebido corresponder a "1", o código acende um LED conectado ao pino 2 por um período de 500 milissegundos, funcionando como uma indicação visual da detecção do som pelo dispositivo de envio. Essa abordagem simplificada de sinalização permite validar a comunicação entre os dispositivos de maneira prática e visual.

O simulador Wokwi foi utilizado como uma ferramenta essencial para realizar testes e validações do código desenvolvido para o projeto antes de sua implementação prática. Este ambiente virtual oferece suporte a uma ampla gama de microcontroladores, como o ESP32, além de diversos sensores e periféricos, permitindo simular fielmente o comportamento do sistema em tempo real. Por meio do Wokwi, foi possível identificar e corrigir possíveis erros de programação, avaliar a lógica de funcionamento dos dispositivos e garantir que a comunicação entre os módulos fosse eficaz.

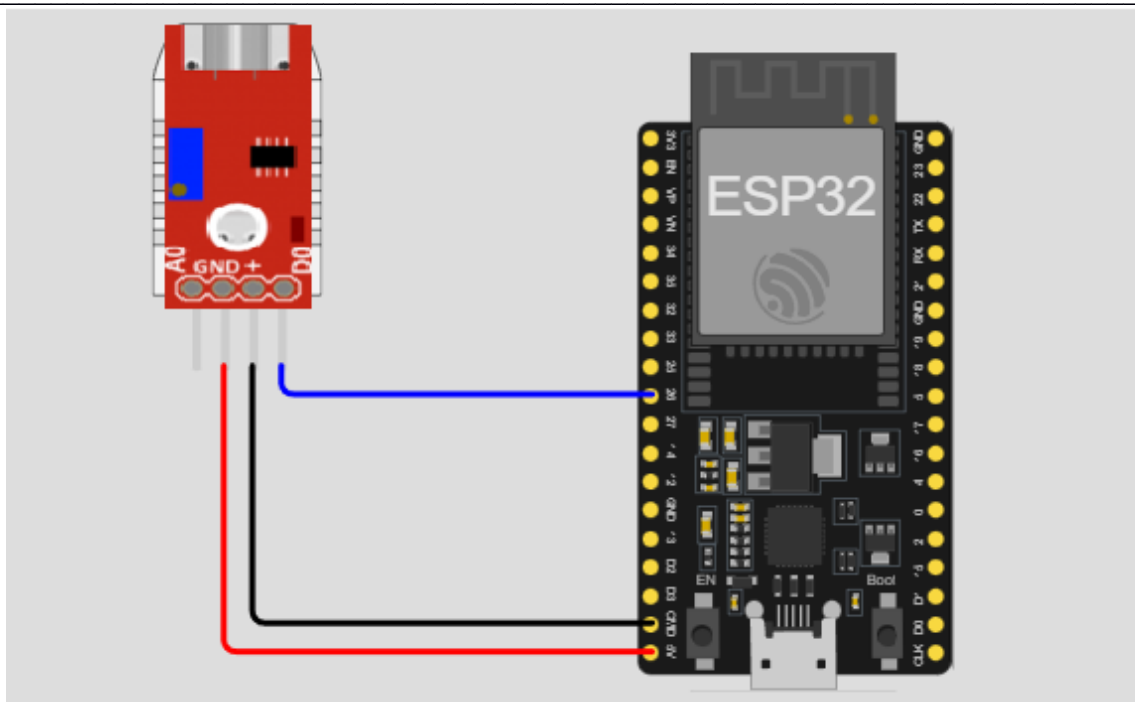


Figura 01: Simulação Workwi (Envia).

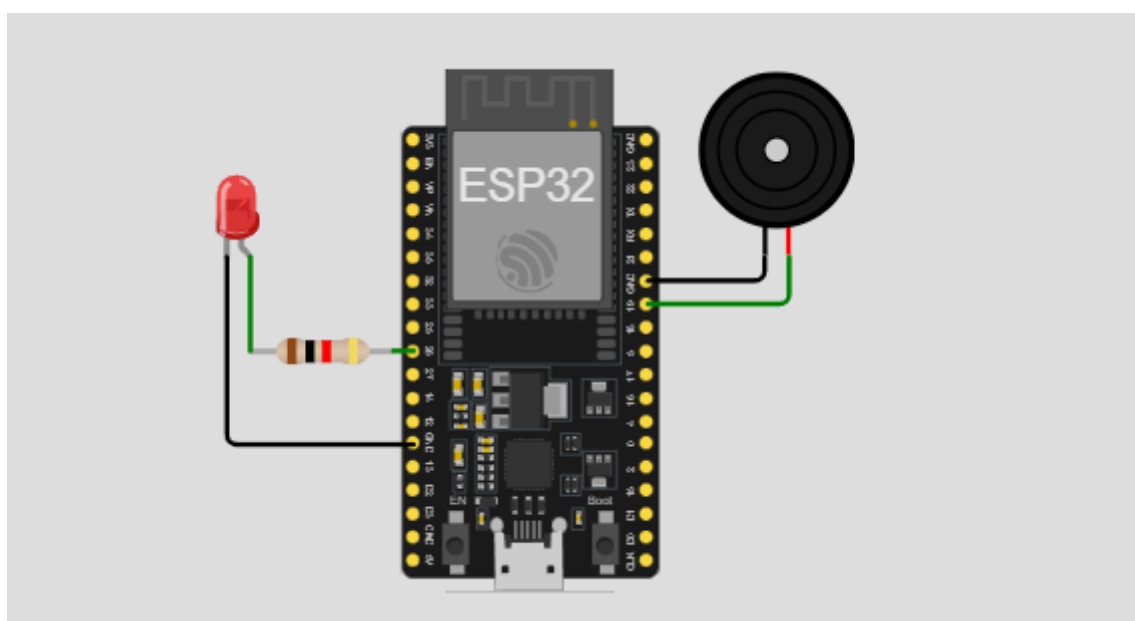


Figura 02: Simulação Workwi (Recebe).

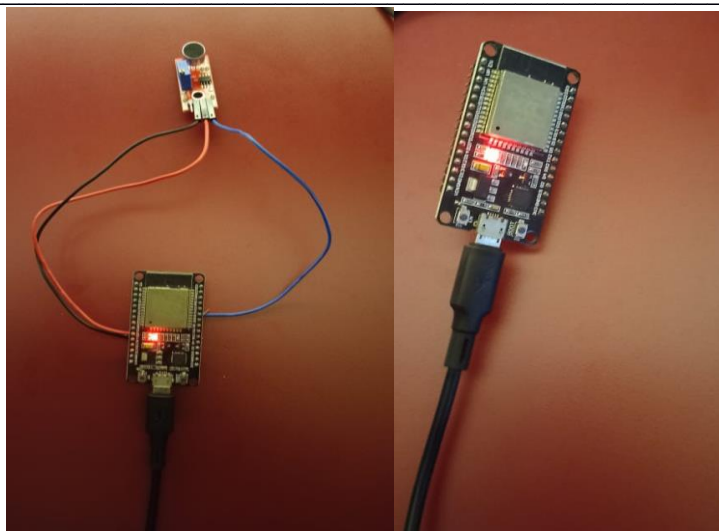


Figura 03: Simulação prática simplificada (Envia e recebe led).

4. CONCLUSÃO

desenvolvimento do protótipo de babá eletrônica assistencial baseado no ESP32 demonstrou a viabilidade de um sistema capaz de oferecer suporte eficiente aos cuidadores de bebês, especialmente aos responsáveis com deficiência auditiva. A implementação dos sensores de som KY-037, juntamente com LEDs e motores de vibração, permitiu a criação de uma abordagem multissensorial para a detecção e sinalização do choro do bebê, proporcionando maior segurança e autonomia para os usuários.

A metodologia adotada, que incluiu desde a definição dos requisitos técnicos até a validação experimental do dispositivo, permitiu identificar e corrigir eventuais falhas, otimizando o desempenho do sistema. A conectividade integrada do ESP32, aliada à sua capacidade de comunicação em tempo real via Wi-Fi e Bluetooth, tornou possível a transmissão eficiente dos alertas, eliminando a necessidade de módulos adicionais e reduzindo os custos do projeto.

Ao comparar a solução desenvolvida com babás eletrônicas comerciais disponíveis no mercado, nota-se que a abordagem DIY (faça você mesmo) proporciona uma alternativa significativamente mais acessível, permitindo a personalização do dispositivo de acordo com necessidades específicas, como a inclusão de alertas não apenas sonoros, mas também visuais e táteis. Enquanto os modelos comerciais tendem a incorporar funcionalidades adicionais e oferecer suporte técnico, a implementação proposta se destaca por sua simplicidade, baixo custo e adaptabilidade, características fundamentais para ampliar a acessibilidade em contextos onde recursos financeiros e tecnológicos são limitados.

Os testes realizados demonstraram a eficácia do sistema, com tempos de resposta adequados e boa precisão na captação dos sinais sonoros. Além disso, a possibilidade de ajustes na sensibilidade do sensor de som e na intensidade dos alertas visuais e táteis amplia a flexibilidade do dispositivo, tornando-o adaptável a diferentes necessidades e ambientes.

Dessa forma, a pesquisa contribui para o avanço de soluções assistenciais acessíveis e tecnológicas no campo da automação doméstica. Para trabalhos futuros, sugere-se a integração com aplicativos móveis para ampliar as funcionalidades do sistema, além de inclusão para conexão via relógio no pulso para transmitir os sinais táteis através da vibração, além da implementação de inteligência artificial para aprimorar a detecção de padrões sonoros e reduzir falsas ativações.

REFERÊNCIAS

[1] Nogueira, A. (2019). *Envolvimento Parental na Comunidade Surda: Desafios e Perspectivas*. [Detalhes de publicação – cidade, editora].

[2] Seabra, B. (2009). *Comunicação Infantil: O Papel do Choro no Desenvolvimento*.

-
- [3] Silva, C. & Souza, D. (2017). *Tipologias Familiares e Desafios na Comunicação: Um Estudo com Pais Surdos*.
- [4] Radabaugh, P. A. Tecnologia e Inclusão: Perspectivas sobre a Deficiência. Em *Anais do Congresso de Tecnologia Assistiva, Localização, País, Ano*; p. 100–105.
- [5] Brasil. Secretaria Especial dos Direitos Humanos. *Tecnologia Assistiva: Conceitos e Definições*. Brasília, 2007; p. 1–2.
- [6] Nielsen, J. A Tecnologia Assistiva no Campo das Telecomunicações. Em *Anais do Seminário Internacional sobre Deficiência e Tecnologia*, 1999; p. 45–50.
- [7] Gandelman, J.; Mendes, P. A. A Percepção dos Estímulos Externos na Comunicação Humana. Em *Revista de Estudos Cognitivos*, 2014, v. 12, p. 10–15.
- [8] Nogueira, A. Comunicação e Surdez: Uma Abordagem Multidisciplinar. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 2019, v. 23, p. 39.
- [9] Clavisso, S.; Silva, J.; Torres, M. Tecnologia Assistiva para Surdos: Campanhas e Despertadores com Interfaces Táteis e Visuais. Em *Anais do Congresso Internacional sobre Tecnologia Assistiva*, 2017, p. 150–155.
- [10] Silva, A.; Souza, R.; Oliveira, M. O ESP32: Custo-Benefício e Flexibilidade na Integração de Sensores e Atuadores. *Revista de Tecnologias Emergentes*, 2020, v. 18, p. 45–52.
- [11] Clavisso, A.; Silva, B.; Pereira, C. Sistemas Multissensoriais em Dispositivos Assistenciais. Em *Anais do Congresso Internacional de Engenharia Assistiva*, São Paulo, Brasil, 2017.