

# Desenvolvimento de um Localizador de Objetos utilizando Bluetooth Low Energy e MQTT para Monitoramento IoT

Ayran Abreu Silva Duarte, Matias Gutierrez Benitez, Victor Eduardo Requia

<sup>1</sup> Centro de Ciências Tecnológicas – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

{ayranduarte5,matiguti17,victorrequia}@gmail.com

**Resumo.** *Nos últimos anos, estamos trazendo novas formas de automatização para resolver problemas cotidianos, domésticos e empresariais por meio da tecnologia, sempre buscando um melhor conforto e otimização do tempo e espaço. Uma dessas formas, é através da Internet das coisas (IoT) que, mesmo sendo recente, vem crescendo ano após ano, em pesquisa e uso. Este artigo apresenta um projeto que propõe o desenvolvimento de um localizador de objetos utilizando a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) em conjunto com o protocolo MQTT para monitoramento IoT.*

**Palavras-chave:** *Internet Of Things, Bluetooth Low Energy, Localizador de objetos, Protocolo MQTT*

## 1. Introdução

A evolução das tecnologias sem fio, tem possibilitado o desenvolvimento de dispositivos cada vez mais inteligentes e interconectados. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT), que pode ser vista como uma rede de coisas físicas e aparelhos virtuais que se comunicam e interagem entre si [Bandyopadhyay and Sen 2011], tem ajudado em diversas situações, desempenhando um papel fundamental na automatização e na melhoria da eficiência em diversos setores. Podemos citar exemplos na agricultura [Santos et al. 2019], saúde [Yuehong and et al. 2016] e na indústria [Perera and et al. 2014].

A Internet das Coisas permite a conexão e interação entre dispositivos, sensores e sistemas, possibilitando a coleta e o compartilhamento de dados em tempo real. Dentre as tecnologias de conectividade utilizadas na IoT, destaca-se o Bluetooth Low Energy (BLE) sendo visto como uma opção viável para aplicações IoT que demandam baixo consumo de energia permitindo que dispositivos IoT, como etiquetas ou tags BLE, funcionem por longos períodos sem a necessidade de trocar as baterias com frequência. O BLE é uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance e baixo consumo de energia, ideal para dispositivos IoT. Ele permite a conexão eficiente entre dispositivos, facilitando a troca de dados em ambientes domésticos, empresariais e públicos, possuindo uma ampla disponibilidade de dispositivos compatíveis e é suportado por diversos dispositivos como smartphones, tablets e sensores [Perera and et al. 2014]. Porém, é importante lembrar que, assim como na tecnologia Wireless, ele é suscetível a ambientes com aparelhos eletrônicos no mesmo ambiente que utilizam a mesma faixa de frequência para comunicação, pode estar sujeito a refração de sinal e perda de qualidade com objetos e, principalmente, paredes.

Para que todos esses dispositivos interconectados tenham efetividade, independente do objetivo e contexto em que são aplicados, existem muitos desafios complexos

que envolvem esses sistemas. [Mascarenhas and et al. 2021] cita os principais: (i) heterogeneidade, (ii) disponibilidade de dispositivos, (iii) grande quantidade de dados, (iv) segurança e privacidade entre outros. Com isso, desenvolver soluções eficientes e inovadores é essencial, principalmente quando falamos em dispositivos de baixa capacidade computacional e de memória [?].

## **2. Motivação**

O projeto oferece uma solução prática e eficiente para a automação e monitoramento de objetos. A implementação desse localizador de objetos utilizando a tecnologia BLE e o protocolo MQTT proporcionará uma solução versátil e de baixo custo para o monitoramento de objetos em tempo real. Isso pode ser aplicado em diversas situações, como encontrar objetos perdidos em residências, monitorar a movimentação de ativos em empresas ou até mesmo rastrear produtos em um armazém. A necessidade de localizar objetos de forma rápida e eficiente é uma demanda crescente em diversos contextos. Em residências, por exemplo, é comum perdermos itens como chaves, carteiras ou celulares, o que resulta em tempo desperdiçado na busca por esses objetos. Em ambientes empresariais, a localização de ativos, como equipamentos e ferramentas, pode ser crucial para otimizar o fluxo de trabalho e evitar perdas desnecessárias. Atualmente, existem diversas tecnologias disponíveis para a localização de objetos, como GPS, RFID e Wi-Fi. No entanto, essas tecnologias apresentam limitações em termos de alcance, consumo de energia e precisão. É nesse contexto que a combinação do Bluetooth Low Energy (BLE) com o protocolo MQTT se destaca como uma solução promissora.

## **3. Tecnologias utilizadas**

O sistema do localizador de objetos consiste em sinais BLE que são transmitidos pelos objetos a serem localizados. Esses sinais são captados por um dispositivo central esp-32. O dispositivo central, por sua vez, envia as informações de localização para o servidor MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) HiveMQ, que funciona por meio de um sistema de publish/subscribe, para o envio e recebimento das informações de localização dos objetos. Todas as informações enviadas para os subscribers, podem ser acessadas remotamente por um aplicativo Android desenvolvido com o framework flutter e linguagem Dart.

Publish/subscribe é um padrão de comunicação em que os participantes do sistema são divididos em dois papéis principais: os publicadores (publishers) e os assinantes (subscribers). Nesse padrão, os publicadores são responsáveis por enviar mensagens sobre um determinado tópico, enquanto os assinantes se inscrevem nos tópicos de seu interesse e recebem as mensagens correspondentes.

No caso do sistema de localizador de objetos, o dispositivo central ESP-32 atua como o publicador, enviando as informações de localização dos objetos para o servidor MQTT HiveMQ. O ESP-32 captura os sinais BLE dos objetos e extrai as informações relevantes, como a identificação do objeto e sua localização.

## **4. Trabalhos Relacionados**

Como trabalhos relacionados, podemos citar [Lira et al. 2019], “Localizador de objetos em curtas distâncias baseado em Bluetooth BLE com monitoramento IoT via MQTT”, que

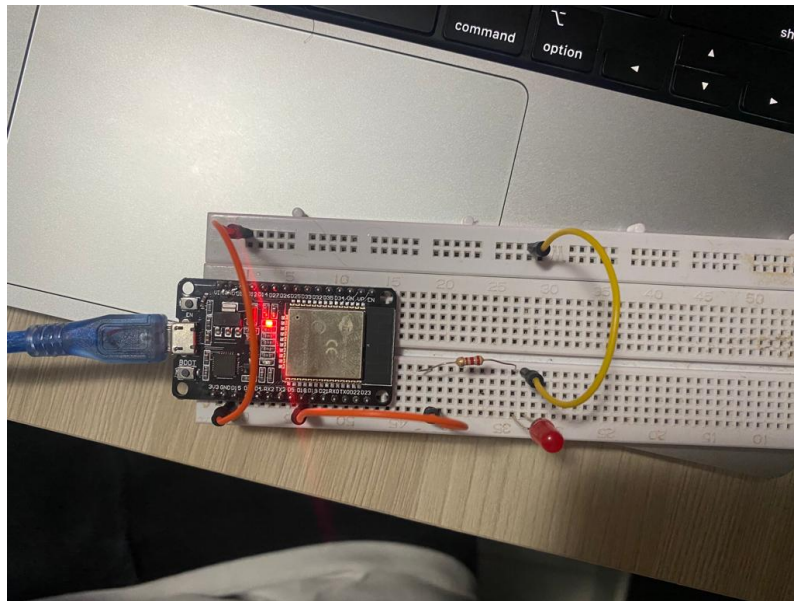
como o próprio nome já sugere, trata do desenvolvimento de uma solução para problemas de esquecimentos de objetos. É bastante semelhante ao trabalho que desenvolvemos, com destaque para algumas diferenças, como por exemplo, na questão de hardware, o uso de 3 LED's, um amarelo que indica a conexão via MQTT, um verde que indica a conexão com a rede Wi-Fi, e um vermelho que serve para indicar se o objeto se encontra dentro do raio RSSI do Bluetooth BLE. Ainda sobre a questão de hardware, foi utilizada uma bateria portátil de 10000mAh, que possibilitou a mobilidade do localizador de objetos. Além disso nesse artigo também foi utilizado a ARDUINO IDE para questões relacionadas à implementação e a página [cloudmqtt.com](https://cloudmqtt.com) para conexão MQTT/IoT. Os testes deste projeto foram desenvolvidos em um ambiente que simulasse um cômodo residencial, com diversos objetos comuns do dia-a-dia. Quanto aos resultados obtidos, foram indicados eficiência de 90% nos objetos encontrados dentro do raio de 10 metros, e 10% não obtiveram o resultado desejado, devido à questões de presença de objetos que causam interferência na qualidade da leitura ou por estes estarem localizados em local de difícil visualização.

Outro trabalho relacionado é o artigo de [Badihi and et al. 2019], “Intelligent Construction Site: On Low Cost Automated Indoor Localization Using Bluetooth Low Energy Beacons”, que aborda o desenvolvimento de um sistema de rastreamento em tempo real para locais de construção usando beacons de Bluetooth Low Energy (BLE) de baixo custo, em razão a esses ambientes sofrerem problemas de baixa produtividade e alto nível de ineficiência resultante da má alocação de recursos, possibilitando gerar acidentes graves e problemas de saúde. Neste trabalho foram realizados testes para localizar trabalhadores e equipamentos através dos beacons BLE e gateways. Como resultados obtidos, foram localizadas as coordenadas dos trabalhadores com uma margem de erro aceitável e também foram localizados os equipamentos no canteiro de obras.

Por fim, um último exemplo de trabalho relacionado é o artigo de [Riesebo et al. 2022], “Smartphone Based Real-Time Indoor Positioning Using BLE Beacons”, que aborda a utilização de smartphones como ferramentas de posicionamento em tempo real em ambientes internos, por meio do uso de beacons BLE (Bluetooth Low Energy). A justificativa para a proposta apresentada pelos autores do artigo está baseada na crescente demanda por soluções de localização em ambientes internos, onde o GPS tradicionalmente usado em smartphones não é eficiente, como por exemplo shoppings, aeroportos, hospitais e edifícios corporativos. O sistema utiliza algoritmos de trilateração para estimar a posição do usuário com base nas distâncias medidas entre o smartphone e os beacons BLE próximos. Além disso, os autores implementaram um filtro de Kalman para melhorar a precisão e estabilidade das estimativas de posição. Os resultados demonstram que o sistema proposto alcançou uma precisão satisfatória na estimativa da posição do usuário, com uma margem de erro aceitável.

## **5. Abordagem Proposta**

O projeto proposto tem como objetivo realizar o rastreamento de dispositivos que utilizam a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE). Para isso, será utilizado o microcontrolador ESP-32, que será responsável por medir o RSSI de cada dispositivo BLE e enviar essas informações para um broker MQTT da empresa HiveMQ. Ao mesmo tempo, foi desenvolvida uma interface de usuário utilizando o framework Flutter, que será responsável por obter as informações do broker MQTT e exibi-las de forma amigável para o usuário. As



**Figura 1. Conexões físicas na protoboard. Fonte: autores.**

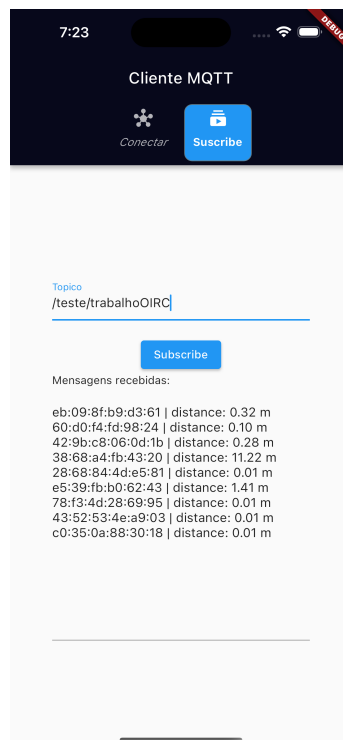
conexões físicas do dispositivo ESP-32 podem ser vistas na Figura 1

**Módulo de Rastreamento:** Neste módulo, o ESP-32 desempenha um papel fundamental. Ele será configurado para monitorar dispositivos BLE nas proximidades e coletar o RSSI de cada um deles. O RSSI é uma medida da potência do sinal recebido e pode ser utilizado como uma estimativa da distância entre o ESP-32 e o dispositivo BLE. Utilizando a fórmula  $10^{((rssi_{ref} - RSSI) / (10 \times N))}$ , é possível calcular a distância aproximada entre os dispositivos. Essa fórmula é uma simplificação baseada no modelo de perda de percurso das ondas de rádio, levando em consideração fatores como absorção, reflexão e difração que afetam a propagação do sinal. O resultado obtido é uma estimativa da distância em metros.

**Módulo de Comunicação MQTT:** Após obter as informações de RSSI e calcular a distância, o ESP-32 enviará esses dados para um broker MQTT da empresa HiveMQ. O protocolo MQTT é uma opção adequada para a transmissão eficiente e confiável de mensagens em ambientes de IoT. O ESP-32 será configurado como um cliente MQTT e publicará as informações sobre os dispositivos rastreados, incluindo o número de objetos identificados e suas distâncias estimadas.

**Módulo de Interface de Usuário:** Para permitir que o usuário visualize e interaja com as informações rastreadas, foi desenvolvida uma interface de usuário utilizando o framework Flutter. Essa interface será responsável por se conectar ao broker MQTT e obter os dados publicados pelo ESP-32. As informações, como o número de objetos e suas distâncias estimadas, serão apresentadas de forma intuitiva e fácil (Figura 2) de entender para o usuário. Por meio dessa interface, o usuário poderá monitorar e acompanhar a localização dos objetos no raio de alcance do ESP-32.

Com a integração desses módulos, o projeto proporcionará um sistema de rastreamento de objetos baseado em BLE, permitindo a detecção de dispositivos próximos ao ESP-32 e estimando suas distâncias. Essas informações serão enviadas via MQTT para



**Figura 2. Tela de informações sobre distância e MAC. Fonte: autores.**

um broker e disponibilizadas em uma interface de usuário amigável. Dessa forma, o projeto oferece uma solução eficiente e prática para o monitoramento e localização de objetos em um ambiente de IoT

## 6. Conclusão

A proposta deste projeto foi desenvolver um localizador de objetos utilizando a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) e o protocolo MQTT para monitoramento IoT. O objetivo é explorar o potencial dessas tecnologias para automatizar e melhorar processos em diversos setores.

A implementação do localizador de objetos traz consigo uma série de benefícios em termos de automatização e eficiência. Ao utilizar o Bluetooth BLE como meio de comunicação, é possível detectar a presença de objetos dentro de um raio de alcance definido. Isso abre possibilidades para diversas aplicações, como o controle de acesso a ambientes restritos, o monitoramento de inventários em tempo real e a localização de objetos perdidos.

É importante ressaltar que, embora a qualidade do sinal do Bluetooth BLE seja confiável em ambientes controlados, em ambientes reais, a taxa de erro pode variar devido a interferências. Por exemplo, a presença de estruturas como paredes ou a presença de outros dispositivos podem afetar a precisão do sinal. Portanto, é necessário considerar esses fatores ao implementar o localizador em um ambiente real.

As possibilidades de aplicação dessa tecnologia são vastas e oferecem soluções criativas e práticas. Um exemplo mencionado por [Lira et al. 2019] é o sistema de destravamento de portas utilizando o Bluetooth BLE. Nesse caso, em vez de utilizar chaves

físicas, o sistema reconhece a proximidade de um dispositivo previamente cadastrado no localizador e realiza o destravamento da porta automaticamente. Isso traz conveniência e segurança, eliminando a necessidade de chaves físicas.

Em resumo, o projeto proposto busca explorar o potencial da tecnologia Bluetooth BLE e do protocolo MQTT para desenvolver um localizador de objetos. A implementação desse sistema oferece benefícios em termos de automatização e eficiência, com possibilidades de aplicação em diferentes áreas. No entanto, é importante considerar as limitações do sinal do Bluetooth BLE em ambientes reais e adaptar o sistema para lidar com possíveis interferências.

## Referências

- Badihi, B. and et al. (2019). Intelligent construction site: on low cost automated indoor localization using bluetooth low energy beacons. In *2019 IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe)*, pages 29–35. IEEE.
- Bandyopadhyay, D. and Sen, J. (2011). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58:49–69.
- Lira, F. A., Junior, F. L. C., do Nascimento, E. J. F., Juca, S. C. S., and Junior, J. N. M. (2019). Localizador de objetos em curtas distâncias baseado em bluetooth ble com monitoramento iot via mqtt. In *Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde (ERCAS)*, 7th, pages 109–114. Sociedade Brasileira de Computação.
- Mascarenhas, A. P. F. M. and et al. (2021). Desenvolvimento de produtos iot. *Brazilian Journal of Development*, 7(1):4711–4724.
- Perera, C. and et al. (2014). A survey on internet of things from industrial market perspective. *IEEE Access*, 2:1660–1679.
- Riesebo, R., Degeler, V., and Tello, A. (2022). Smartphone-based real-time indoor positioning using ble beacons. In *2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, pages 1281–1288. IEEE.
- Santos, I. B. d., Sandmann, A., Souza, B. E. d., Schmidt, C. A. P., Filho, P. L. d. P., Melges, A. I., and Marcolin, J. F. (2019). Internet das coisas (iot) aplicada ao agronegócio: Projeto e implementação de um gateway de iot sobre a plataforma arduino para simplificar a automatização da aquicultura. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 26(2):49–64.
- Yuehong, Y. and et al. (2016). The internet of things in healthcare: An overview. *Journal of Industrial Information Integration*, 1:3–13.