

# LOCALIZAÇÃO INDOOR: uma abordagem com beacons

VARELLA, Maycon Ferrari <sup>1</sup> ; BAIA, Joas Weslei <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Discente Graduação CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

<sup>2</sup> Docente Graduação CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



mayconfvarella@hotmail.com  
joasweslei@gmail.com

## RESUMO

Com a popularização de aparelhos móveis, surgiram diversas técnicas para definir nossa localização. Essas técnicas e suas principais características são abordadas neste trabalho. Dentre elas, a opção utilizada foi estimativa da distância indoor, utilizando aparelhos beacons, cujo uso requer atenção a alguns fatores que são abordados durante o artigo. O trabalho também mostra o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis com o sistema operacional Android, utilizando a linguagem Java. O aplicativo tem como função listar beacons próximos e, através de cálculos, estimar a distância do aparelho receptor. A calibragem e a precisão do cálculo que o aplicativo faz são demonstradas através de gráficos, gerados com resultados obtidos por ele.

**Palavras-chave:** Localização-indoor. Beacons. Estimativa de distância

## INTRODUÇÃO

A geolocalização tem uma importante influência na vida das pessoas e pode ser dividida em ambientes outdoor e indoor. A localização outdoor serve para referenciar geograficamente a localização de pessoas e objetos dentro de ambientes fechados, e a localização outdoor é usada para os demais ambientes, como: ruas, avenidas, praças e agricultura.

A tecnologia da informação fez com que as pessoas passem mais tempo em ambientes indoor, como suas casas, empresas, faculdades e shoppings. Uma pesquisa da Strategy Analytics ([www.strategyanalytics.com](http://www.strategyanalytics.com)) aferiu que as pessoas passam entre 80% e 90% do seu tempo em ambientes indoor. O estudo ainda indica que cerca de 70% das chamadas e 80% das transmissões de dados são efetuadas a partir de ambientes indoor (SIMÕES, 2015), conforme apresenta a Figura 1.

**Figura 1:** Porcentagem do tempo diário nos ambientes



Fonte: Simões, 2015.

## O problema e sua importância

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), o Brasil registrou um aumento de produtividade de 4,5% em 2017; o estudo também comprova que o avanço tecnológico por meio da microlocalização contribuiu para tal crescimento (CQH, 2019). Como demonstrado por Simões (2015), um elevado percentual do tempo das pessoas é gasto em ambientes indoor, dada a necessidade de empresas e pessoas se localizarem nesses locais, o que pode ajudar a identificar fatores que auxiliem na produtividade de empresas, pessoas e identificar outros tipos de problemas; todavia, a falta de um mapeamento efetivo pode representar grandes perdas de tempo e dinheiro.

É comum encontrar pessoas em grandes lojas, mercados ou depósitos à procura de um determinado item. Nessas situações, até mesmo uma boa organização dos produtos ou mercadorias pode deixar algumas pessoas confusas, a utilização da localização indoor pretende auxiliar as pessoas a localizarem o que necessitam de uma forma mais rápida e eficiente em ambientes indoor devidamente estruturados, para assim evitar um desperdício de tempo desnecessário.

## Objetivo Geral

Realizar a localização de dispositivos em um ambiente controlado e registrar sua precisão e alcance em diferentes situações.

## Objetivo Geral

- Selecionar os dispositivos necessários para a composição do sistema.
- Configurar os dispositivos selecionados para funcionarem na rede da instituição.
- Testar o funcionamento e precisão do sistema desenvolvido.

## LOCALIZAÇÃO INDOOR

Softwares de posicionamento determinam a disposição de um objeto em um determinado ambiente. Conforme as características e atributos do ambiente, diferentes tipos de informação de posicionamento podem ser utilizados no processo de localização: posição física, posição simbólica, posição absoluta e posição relativa (PINO, 2018).

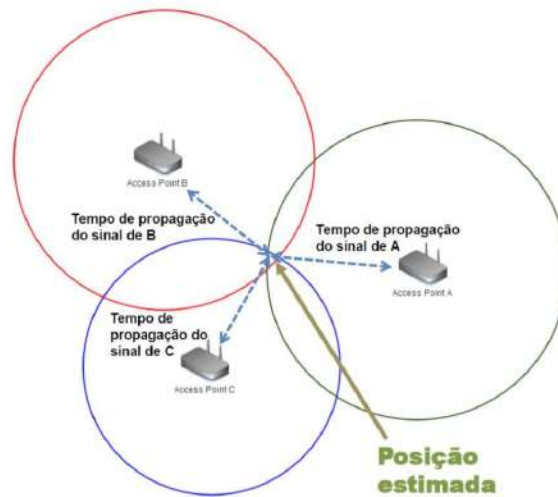
A localização física funciona através do emprego de coordenadas que identificam um ponto em um mapa. Já a posição simbólica fornece a localização em linguagem natural, como “no comércio” ou “no hortifruti”, através dos símbolos disponíveis na linguagem. A posição relativa fundamenta-se na proximidade de um ponto de referência conhecido, a localização absoluta é utilizada a partir de uma grelha de referência onde os objetos estão localizados e a localização relativa é sempre baseada em pontos de referência. Os sistemas de posicionamento podem ser caracterizados conforme a metodologia de localização utilizada: trilateração, análise de cena e análise de proximidade.

## TRILATERAÇÃO

As técnicas de posicionamento baseadas em trilateração medem a localização do objeto a partir de suas distâncias em relação a pontos de referência. Para o cálculo de sua posição, pode-se utilizar a atenuação da intensidade do sinal de um access point e o tempo de viagem desse sinal.

O método TOA, Time Of Arrival, é uma das técnicas de medição da distância de um dispositivo e um aparelho com tecnologia wireless. Os sistemas efetuam a medição do tempo de propagação do sinal do emissor até o receptor, e assim a distância entre ambos é calculada, conforme ilustrado pela Figura 2. Entretanto, essa técnica necessita que os intervenientes emitam os sinais em sincronia, assim como que seja enviado o momento em que o sinal foi gerado para que a unidade de medição possa saber quanto tempo levou para o sinal se deslocar. A precisão da localização é diretamente proporcional a qualidade do sinal emitido (SPENCER, 2000).

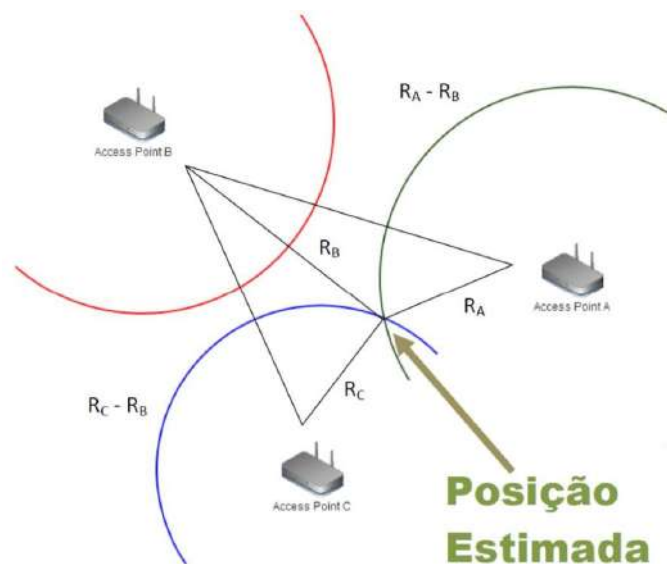
**Figura 2:** Esquema da técnica de posicionamento TOA



Fonte: Simões, 2015.

A técnica TDOA, Time Difference Of Arrival, também utiliza o tempo para identificar o posicionamento do objeto, porém, ele necessita que haja a sincronização apenas entre os pontos emissores. A posição de um objeto é determinada pela interseção das diferenças de tempo na chegada do sinal ao receptor, objeto móvel, conforme ilustra a Figura 3. Assim como na técnica TOA, o método TDOA pode computar valores de precisão altivos, se não ocorrerem perdas na propagação do sinal e da sincronização entre os emissores (GUSTAFSSON, 2003).

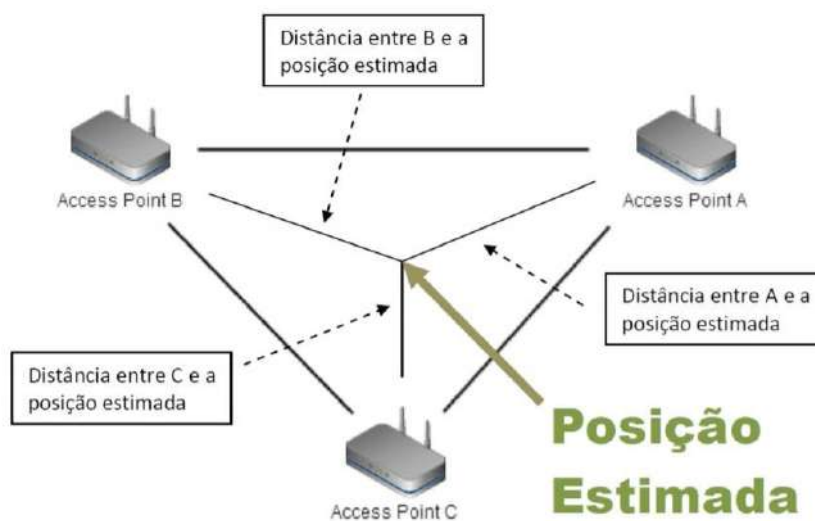
**Figura 3:** Esquema da técnica de posicionamento TDOA



Fonte: Simões, 2015.

A técnica DIRETA não utiliza a unidade de tempo para computar a distância entre os dispositivos como TOA e TDOA, conseqüentemente não há a necessidade de sincronização entre os dispositivos. Nessa técnica, o sistema deve apenas converter a potência do sinal na distância e a partir das posições dos emissores e sua intensidade de seus sinais é possível determinar a posição do receptor, conforme abstração ilustrada na Figura 4. É preciso conhecer as perdas de proliferação do sinal entre o emissor e o receptor, pois a precisão do posicionamento está diretamente proporcional ao valor desse parâmetro (MITTELSTADT, 2018).

**Figura 4:** A técnica de Triangulação Direta



Fonte: Simões, 2015.

Para escolha do método de localização de dispositivos, é necessário analisar as características arquitetônicas do ambiente indoor e as especificações técnicas dos dispositivos Wifi, receptores desses sinais.

## DISPOSITIVOS BLEE OU BEACONS

Recentemente, em 2010, foi lançado um novo aparelho que utiliza a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) ou, como também é conhecida, Bluetooth 4.0. Esses aparelhos emitem sinais de rádio através dessa tecnologia; diferentemente de seu antecessor, os aparelhos que utilizam o Bluetooth 4.0 não precisam estar pareados para recebimento de informações, o que possibilita a troca de dados entre diversos aparelhos (MENEGOTTO, 2015).

Os Beacons usam o Bluetooth low energy para determinar a distância de outros dispositivos. Eles enviam um código, que pode ser personalizado de acordo com a

necessidade de seu uso, por exemplo, enviar uma notificação ao smarthphone, abrir algum aplicativo, etc. Existem também alguns modelos que podem ser encontrados com funções adicionais, como medir a temperatura e sensor de acelerômetro.

## **TRABALHOS RELACIONADOS**

Na finalidade de entender o funcionamento da localização de dispositivos móveis nos ambientes indoor, foram estudados três trabalhos pertinentes que apresentam diferentes formas para definir a localização de objetos.

### **Projeto de sistema de posicionamento indoor por análise de cena em rede IEEE**

O projeto usou a localização pela análise de cena. Essa técnica é dividida em duas fases. Primeiro, o dispositivo coleta todas as características do ambiente e armazena esses dados para uma futura comparação. Na segunda fase, o dispositivo realiza novas leituras do ambiente, que são inseridas em um estimador definido na primeira fase para retornar a localização atual do dispositivo em tempo real. A técnica apresentou bons resultados de precisão para ambientes pequenos; contudo, em casos de ambientes maiores, é necessário um elevado número de pontos de calibração para manter a precisão, o que aumenta os custos do sistema (PINO, 2018).

### **SENSORIAMENTO DA EDIFICAÇÃO: um sistema de localização baseado em beacons BLE**

Uma alternativa de localização de objetos e pessoas em ambientes indoor é através beacons, pequenos aparelhos que utilizam a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) e emitem um sinal intermitente de ondas de rádio capaz de localizar um dispositivo em uma curta distância. O trabalho usou a tecnologia para desenvolvimento de um aplicativo de localização indoor utilizando os beacons que foram estrategicamente posicionados e concluiu com seus testes que os dispositivos possuem taxa de precisão variável devido a fatores como interferências e distância do sinal. Também foi destacado em seu projeto que, para construções grandes, é necessário um elevado número de beacons; em seu prédio de aproximadamente 110.000 m<sup>2</sup>, seria necessário utilizar uma quantidade de 1.100 beacons (MENEGOTTO, 2015).

### **Navegação indoor baseada na rede WiFi como suporte a serviços baseados na localização: estudo de caso no campus da UL**

Simões (2015) utilizou a trilateração para definição da localização dos dispositivos.

Essa tecnologia faz uso do sinal de wifi para identificar a posição dos objetos no ambiente indoor. A trilateração realiza medição da distância do emissor ao receptor, nessa situação, dos smartphones aos AccessPoints. Para o desenvolvimento desse sistema de localização, o pesquisador utilizou a técnica da proximidade para computar as distâncias. Ele obteve níveis de precisão adequados, porém esse resultado está em função da qualidade do sinal: à medida que a distância entre o dispositivo e o receptor aumenta, essa precisão diminui. Uma vantagem desse projeto foi a utilização dos dispositivos e estrutura já existentes no campus da Universidade.

## **MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO**

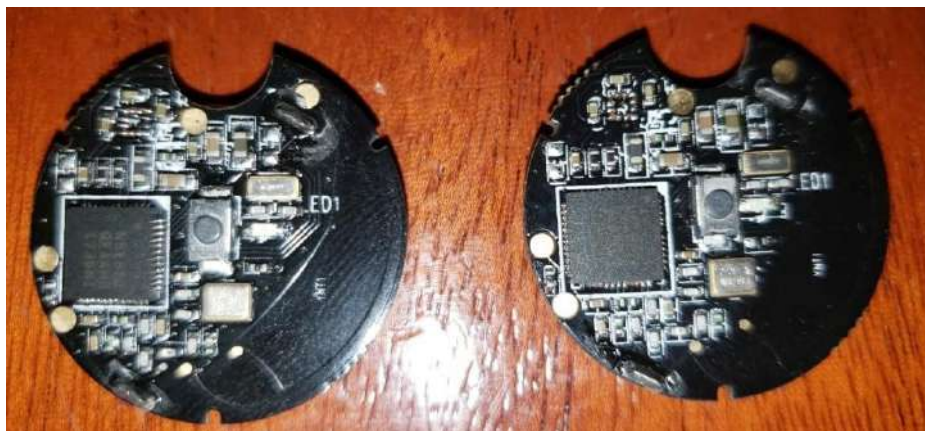
Para o estudo de caso da localização indoor, foram desempenhadas as seguintes atividades:

- Foi selecionado o tipo de beacon considerando as especificações técnicas e valores como precisão, distância de funcionamento, tempo de funcionamento da bateria, preço do modelo e o tempo para disponibilização.
- Foram analisados os problemas de interferência, precisão e alcance e como contorná-los.
- Foi desenvolvido um aplicativo de software (<https://github.com/MaykF/detectable>) capaz de receber as informações dos beacons e definir a localização do dispositivo no ambiente físico.
- Foram realizados testes para aferir o funcionamento e a precisão do sistema desenvolvido.

## **ESCOLHA DOS BEACONS**

Para realização do projeto, foram selecionados dois beacons (Figura 5) com o mesmo chip e que utilizam o protocolo iBeacon. Foram escolhidos os modelos do chip nrf51822, cujo alcance máximo é de 15 metros por apresentarem um valor monetário baixo, boa durabilidade e disponibilidade.

**Figura 5:** iBeacons utilizados



Fonte: Simões, 2015.

Os beacons utilizaram Broadcasting Power, que envia ondas pelo dispositivo (beacon) em decibéis(dB) contendo um valor do sinal que, ao chegar a outro dispositivo capaz de recebê-lo, servirá para medir a potência do sinal entre eles.

O RSSI (Received Signal Strength Indication) é a força de recepção do sinal: quanto maior a distância entre o beacon e o aparelho receptor, menor será a força do RSSI.

## TIPOS DE PROTOCOLO

### iBeacon

O protocolo idealizado pela empresa Apple inc. foi desenvolvido para uso com o S. O. da empresa iOS, porém muitos SDKS conseguem monitorar beacons que utilizam esses protocolos.

O sinal do iBeacon dispõe de 5 principais informações o UUID, que identifica a fabricante do modelo: Major mostra sua aplicação, Minor identifica o dispositivo, Prefix que contém algumas informações como a fabricante e TxPower representa a força do sinal (MONTE, 2019).

### Eddystone

Idealizado pela Google, esse protocolo aberto tem como uma de suas principais vantagens sua flexibilidade e integração com outros produtos da própria empresa. Dentre suas vantagens, podemos destacar a função de enviar links (Urls) para outros dispositivos que possuem o seu navegador web, o Google Chrome (REICHERT, 2017).



## Aplicativo

Como definido no método de desenvolvimento, foi criado um código fonte em Java para dispositivos móveis que possuam o sistema operacional Android. Para desenvolvimento do aplicativo foi utilizada a ferramenta Android Studio.

Para utilização do aplicativo, é necessário que o dispositivo possua no mínimo a versão 5.1 (Lollipop) do sistema Android, além de possuir a tecnologia bluetooth para receber os sinais enviados pelos beacons e, por fim, localização por GPS.

Ao iniciar a aplicação é verificado, e caso necessário, solicitado o acesso à localização do aparelho, assim como a ativação do bluetooth, necessários pelo BluetoothAdapter.

Antes de iniciar a detecção de dispositivos emissores de sinais Bluetooth low energy, precisamos definir qual será sua condição de parada. Como a verificação usa intensivamente a bateria do aparelho, será criada uma Thread que aguardará um período de 10 segundos e será executada quando o aparelho terminar a detecção dos beacons.

```
mHandler.postDelayed(new Runnable() {
    @Override
    public void run() { // Ao terminar o escaneamento será executado
        isScanning = false;
        mBluetoothAdapter.stopLeScan(mLeScanCallback); // Para o callback que detecta novos beacons
        calculeAverage(); // Após obter todos os resultados calcula a distância do aparelho
        mLeDeviceListAdapter.notifyDataSetChanged();
        invalidateOptionsMenu(); // Habilita o botão procurar novamente }
    }, SCAN_PERIOD); // Período de espera 10 segundos
```

Após seguir o fluxo de execução, é instanciada uma função callback que aguardará a detecção de sinais recebidos pelo adaptador bluetooth.

```
private BluetoothAdapter.LeScanCallback mLeScanCallback = new
```

Quando for detectado um sinal bluetooth, o callback recebe informações do aparelho e cria uma nova Thread para adicionar o beacon detectado à lista.

```
private BluetoothAdapter.LeScanCallback mLeScanCallback = new
BluetoothAdapter.LeScanCallback() {
    @Override
    public void onLeScan(final BluetoothDevice device, final int rssi, final byte[] scanRecord) {
        runOnUiThread(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
```

```

if(device.getName() != null) {
    mLeDeviceListAdapter.addDevice(device, rssi); // função responsável por adicionar o beacon
detectado na lista
}
}
});
}
};

```

**Figura 6:** Lista de dispositivos próximos



Fonte: Simões, 2015.

## Estimativa de distância

A estimativa de distância pela potência do sinal RSSI que utiliza a unidade de medida decibéis é uma técnica que pode entregar resultados aceitáveis (LARSSON, 2015).

Para realizar a estimativa da distância através do RSSI, é preciso realizar uma média com os aparelhos que serão utilizados. Como serão utilizados iBeacons, a recomendação é que seja realizada a medição a 1 metro de distância (DONGXING, 2015).

Os testes dos aparelhos foram realizados em repouso absoluto e em um ambiente sem interferências de dispositivos próximos. O aparelho utilizado para medir os valores foi um smartphone Samsung Galaxy S9.

O valor de RSSI para medir a potência do sinal recebido pelo aparelho e assim definir a distância é calculado pela Equação 1. Esse valor é obtido pelo aplicativo ao receber um sinal enviado pelo beacon. A variável D é a distância do dispositivo; TxPower

é um valor médio em dB recebido a 1 metro de distância.

$$D = 10^{((TxPower - RSSI) / 20)}$$

Equação 1 - Cálculo da distância

Para conseguir estimar as distâncias, como a dos beacons ao smartphone, é necessário considerar alguns fatores para esse cálculo, como a flutuação do sinal, obstruções, interferências e até mesmo os fabricantes do beacon e smartphone utilizados. Por esses fatores, a precisão da distância nem sempre condiz com a realidade. Os resultados obtidos podem variar em até 100%, ou seja, ao realizar uma amostra com um dispositivo a 1 metro de distância, o aplicativo pode mostrar como resultado que o aparelho está de 0.5 metros a até 2 metros.

## Calibragem de sinal

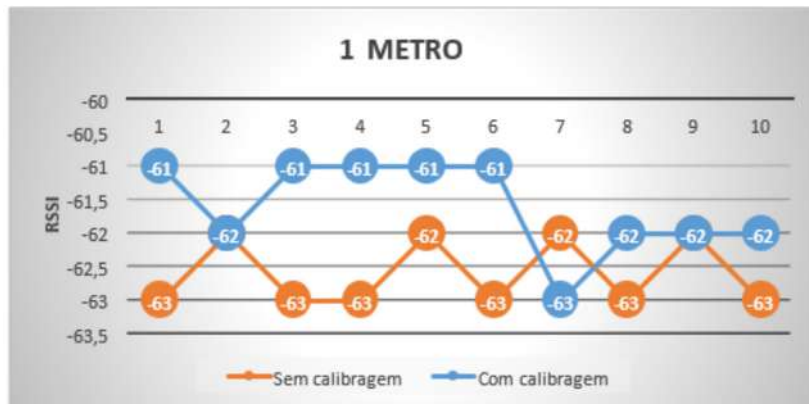
Conseguir uma estimativa mais precisa das distâncias pode exigir uso de técnicas. Neste estudo foi utilizado o princípio da média truncada, dessa forma o aplicativo captará, durante um período de 10 segundos, todos os sinais emitidos pelos beacons próximos e, após terminar, terão sido eliminados os 10% menores e os 10% maiores resultados obtidos a partir da medição (PORTALACTION, 2020).

$$Tri - média = \sum_{i=2}^9 \frac{X_{(i)}}{8}$$

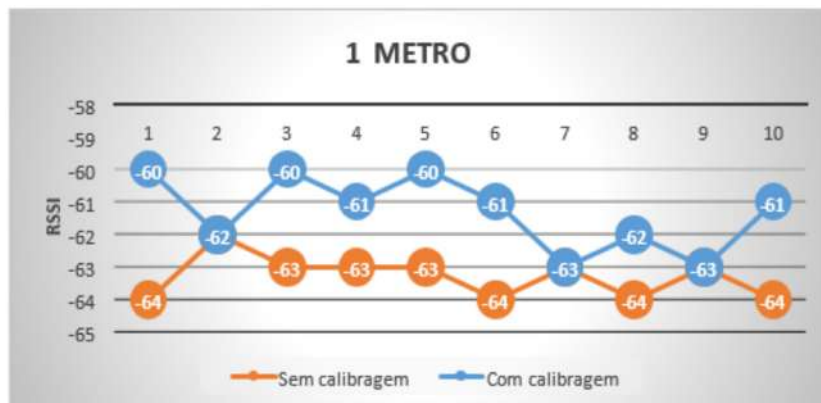
Aplicando a fórmula da média truncada, os resultados em dispositivos mais próximos não se mostraram muito úteis, conforme o gráfico mostra o resultado obtido com teste realizado a 1 metro, o resultado esperado para os testes de 1 metro deve ser próximo aos -63 dB. Nos testes chamaremos D3:28:B4:C9:B8:B5 de beacon 1 e DD:BE:92:25:EF:9B de beacon 2.

Dispositivo (Mac)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
D3:28:B4:C9:B8:B5	-63	-62	-63	-63	-62	-63	-62	-63	-62	-63
DD:BE:92:25:EF:9B	-64	-62	-63	-63	-63	-64	-63	-64	-63	-64

**Figura 7.1:** Teste 1 metro beacon D3:28:B4:C9:B8:B5



**Figura 7.2:** Teste 1 metro beacon DD:BE:92:25:EF:9B

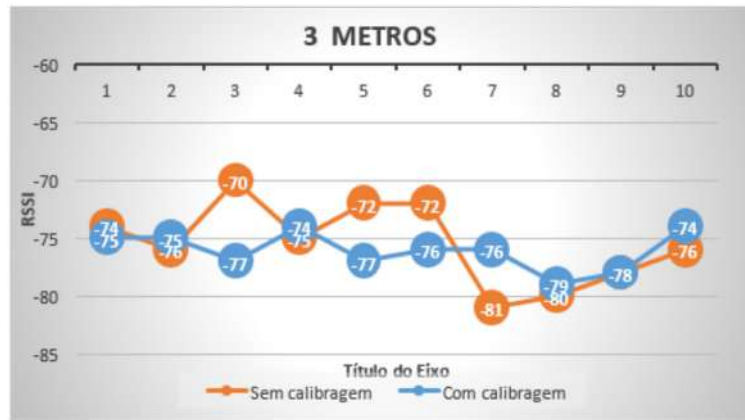


Visualizando os resultados dos testes a 1 metro de distância é possível concluir que a diferença dos resultados de cada teste é aceitável com uma taxa de erro até 10%, para o beacon 1 os valores de cada teste variam, de -0,0158% à 0% sem calibragem e de -0,0317% à 0% com calibragem, enquanto que o beacon 2 de -0,0158% à 0% sem calibragem e -0,0476% à 0,0158% com calibragem.

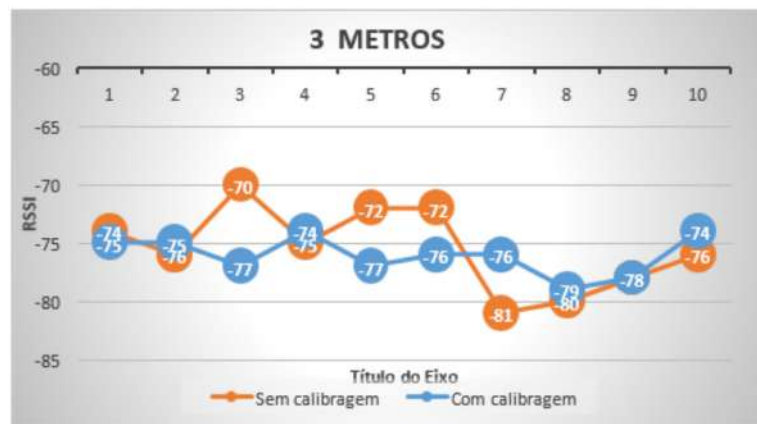
De acordo com Bjornsson (2016) em locais muito próximos não ocorrem muitas reflexões do sinal e há menor possibilidade de interferências devido a bloqueios físicos, por isso os resultados apresentam melhor precisão nessas situações.

Em situações onde a distância aumenta o uso da técnica se mostra muito útil para melhorar a precisão da estimativa de distância, os valores esperados devem estar entre o intervalo -74dB e -75dB.

**Figura 8.1:** Teste 3 metros beacon D3:28:B4:C9:B8:B5



**Figura 8.2:** Teste 3 metros beacon DD:BE:92:25:EF:9B



Em 3 metros, os valores flutuaram significativamente, em especial nos testes que o sistema não estava calibrado, os valores variaram entre -0,0571% e 0,8% para o beacon 1 sem calibragem e de 0% a 0,053% com calibragem, para o beacon 2 foram de 0% a 0,2933% e 0% a 0,0266% com calibragem.

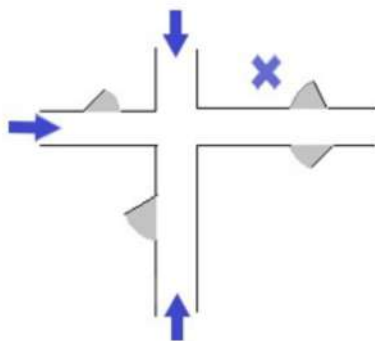
Para aplicações em que fosse necessário estar mais afastado do emissor do sinal bluetooth, a aplicação de técnicas como a média truncada é necessária para se conseguir um resultado aceitável.

## **SIMULAR UM DIRECIONAMENTO A UM LOCAL DE INTERESSE USANDO BUSCA EM PROFUNDIDADE**

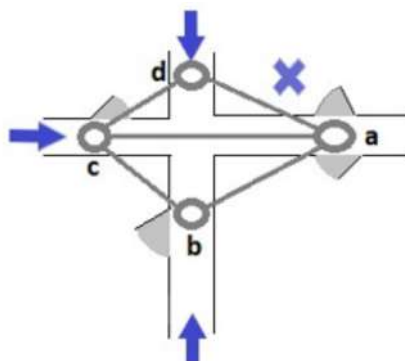
Supondo que uma pessoa se encontra em um ambiente indoor e precise de uma orientação da direção a seguir para chegar à sala que deseja, como o exemplo

demonstrado na imagem 9. Além disso, para conseguir direcionar corretamente a pessoa, precisaremos posicionar os beacons estrategicamente, conforme a Figura 9.1.

**Figura 9:** Local de interesse



**Figura 9.1:** Local de interesse grafo



A técnica utilizada para solucionar o problema será a busca em profundidade, e cada nó representará um beacon, que estará posicionado na determinada posição. Os valores dos nós serão as estimativas de distâncias. No aplicativo, o grafo que mapeia o ambiente indoor é previamente informado.

Nessa simulação, os beacons nós (b, c, d) serão responsáveis por direcionar o corredor que a pessoa deverá seguir, portanto, ao chegar a algum nó, ele informará qual deverá ser a direção a ser seguida.

## TRABALHOS FUTUROS

A localização indoor é uma grande área, e o momento atual em que a humanidade se encontra necessita mais do que nunca de novos aplicativos e tecnologias para esse fim. Como trabalho futuro, propõe-se um estudo mais aprofundado sobre as interferências

de outros aparelhos, como celulares e paredes dispostos, e criar um sistema capaz de direcionar pessoas a seu objetivo dentro de construções previamente conhecidas, orientando as pessoas a seguirem o melhor caminho a esses locais utilizando a teoria de grafos, e utilizar a busca em profundidade.

## CONCLUSÃO

O trabalho apresentou o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis e sistemas Android que recebe sinais de bluetooth de baixa energia, emitidos por aparelhos conhecidos como beacons, e exibe na tela informações para o usuário como seu Mac e estimativa de distância. Os resultados e testes do trabalho demonstram que a estimativa por localização em ambientes indoor utilizando beacons é possível, mas para tal é imprescindível a utilização de técnicas como a média truncada, utilizada no algoritmo deste trabalho para melhorarmos a precisão do aplicativo. Por outro lado, a respeito de seu custo e benefício, a utilização dos beacons em um cenário em que se deseja realizar o mapeamento de uma grande edificação pode se tornar um problema por necessitar de um maior número de beacons e, conseqüentemente, exigir um valor elevado.

## REFERÊNCIAS

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 5. ed. UFSC, 2002.

BJORNSSON, Leifur. 2016. Disponível em: <https://locatify.com/blog/ble-beacons-no-bullbeacon-review/>. Acesso em: 04 jun. 2020.

CQH. Disponível em: [http://www.cqh.org.br/portal/pag/doc.php?p\\_ndoc=2036](http://www.cqh.org.br/portal/pag/doc.php?p_ndoc=2036). Acesso em: 23 mar. 2019.

DEVELOPER ANDROID. Disponível em: <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le>. Acesso em: jun. 2020.

DONGXING, Wang. **Electronic engineering and information science**. Haikou, PR, China. Taylor & Francis Group, 2015

GUSTAFSSON, Fredrik; GUNNARSSON, Fredrik. Positioning using time-difference of arrival measurements. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings (ICASSP'03). IEEE, 2003. p. VI-553.

JOLIVET, Régis; LÓPEZ, Arsenio Pacios. **Las doctrinas existencialistas desde Kierkegaard a J. P. Sartre**. Gredos, 1950.

LARSSON, Johan; HOLMBERG, John. Learning while creating value for sustainability transitions: the case of Challenge Lab at Chalmers University of Technology. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 4411-4420, 2018.

MENEGOTTO, José Luís. Sensoriamento da edificação: um sistema de localização baseado em beacons BLE. **Blucher Engineering Proceedings**, 2015, v. 2, n. 2, p. 264-274.

MONTE, Pedro Ivo Espindola et al. **Uma abordagem de transformação digital em serviços de básicos de uma universidade**, 2019.

MITTELSTADT, Raul Silverio. **BLUEPATH**: sistema de localização indoor. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

PINO, Eduardo da Silva et al. **Projeto de sistema de posicionamento indoor por análise de cena em rede IEEE 802.15.4**. 2018.

PORTALACTION. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/estatistica-basica/24-trimedia>. Acesso em: 04 jun. 2020

QIAN, Dong; WALTENEGUS, Dargie. **Evaluation of the reliability of RSSI for indoor localization**, 2012,

REICHERT, Leonardo Adriano. **Mapa de calor baseado em geolocalização interna com utilização de beacons**. 2017.

SIMÕES, Diogo Mourão. **Navegação indoor baseada na rede WIFI como suporte a serviços baseados na localização**: estudo de caso no campus da UL. 2015. Tese de Doutorado.

SPENCER, Quentin H. et al. Modeling the statistical time and angle of arrival characteristics of an indoor multipath channel. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 18, n. 3, p. 347-360, 2000.



# *REVISTA CIENTÍFICA UNIFAGOC*

---

***GRADUAÇÃO E  
PÓS-GRADUAÇÃO***



[www.unifagoc.edu.br](http://www.unifagoc.edu.br)  
0800 037 5600