

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

TÚLIO CARDOSO TRAMONTIN

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE FINGERPRINTING E
TRILATERAÇÃO DE SINAL BLUETOOTH APLICADA NA CONSTRUÇÃO DE UM
APLICATIVO DE GEOLOCALIZAÇÃO**

CRICIÚMA

2016

TÚLIO CARDOSO TRAMONTIN

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE FINGERPRINTING E
TRILATERAÇÃO DE SINAL BLUETOOTH APLICADA NA CONSTRUÇÃO DE UM
APLICATIVO DE GEOLOCALIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc. Gustavo Bisognin

CRICIÚMA

2016

TÚLIO CARDOSO TRAMONTIN

**ANALISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS FINGERPRINTING E
TRILATERAÇÃO DE SINAL BLUETOOTH APLICADA NA CONSTRUÇÃO DE UM
APLICATIVO DE GEOLOCALIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
pela Banca Examinadora para obtenção do
Grau de Bacharel, no Curso de Ciência Da
Computação da Universidade do Extremo Sul
Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa
em Engenharia de Software

Criciúma, 23 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc. Gustavo Bisognin (UNESC) - Orientador



Prof. Dr. Kristian Madeira - (UNESC)



Prof. Esp. Gilberto Vieira da Silva - (UNESC)

Aos meus pais, irmãos, minha esposa Nádja e minha filha que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por me conceder saúde, determinação e coragem para que eu pudesse concluir mais uma etapa de muitos objetivos que ainda tenho pela frente.

À minha esposa Nádja por estar ao meu lado em todos os momentos para que eu pudesse levar este sonho a diante.

À minha filha Lívia, que embora não tenha conhecimento disto, mas me iluminou de maneira especial a buscar forças para obter foco e determinação.

Agradeço a minha mãe Cândida e meu Pai Aristolino por toda a dedicação que eles têm comigo, muitas vezes abdicando de fazer coisas para si, para se dedicar a mim. Não existem palavras para agradecer, pois são a base do meu caráter e vontade de vencer.

Agradeço aos meus irmãos Lucas, Josiane, Karina e Ezequiel por terem me incentivado e auxiliado nos momentos difíceis que passei durante essa jornada.

Agradeço ao meu orientador Gustavo Bisognin e todos os professores do curso de Ciência da Computação, que por meio de seus ensinamentos, contribuíram para que este projeto fosse desenvolvido e os objetivos atingidos.

“O mundo está nas mãos daqueles que têm a coragem de sonhar e correr o risco de viver seus sonhos.”

Paulo Coelho

RESUMO

Atualmente com a popularização dos dispositivos móveis percebe-se a necessidade de desenvolver aplicativos de geolocalização aproveitando desses meios tecnológicos para orientar pessoas na locomoção em ambientes fechados. O presente trabalho contribui para evolução das técnicas através das apresentações dos resultados obtidos da comparação dos algoritmos de trilateração e *fingerprinting* aplicado na construção de um aplicativo de geolocalização utilizando sinal *bluetooth* emitido pelos *beacons*. Os *beacons* são pequenos dispositivos que podem ser instalados facilmente no ambiente a fim de transmitir sinal *bluetooth* para realizar a comunicação com o dispositivo móvel através do protocolo Eddystone. A posição é estimada no ambiente através das técnicas de trilateração e *fingerprinting* aprimoradas utilizando kNN, distância Euclidiana e filtro de Kalman. O trabalho apresenta os resultados levando em consideração a porcentagem de acertos dos pontos mapeados e margem de erros máximos em metros para cada método proposto.

Palavras-chave: Geolocalização, *Fingerprinting*, Trilateração, *Beacon*, *Bluetooth*.

ABSTRACT

Nowadays with the popularization of the mobile devices it's noted the necessity of geolocalization application development taking advantage of these technological means to lead people into locomotion in closed spaces. The current academic paper contributes to the evolution of techniques through presentation of obtained results by comparison of algorithms of trilateration and fingerprinting applied into the building of a geolocalization application using beacon-emitted Bluetooth. The beacons are small devices which can perform the communication with the mobile device through the Eddystone protocol. The position is estimated in the environment by trilateration techniques and improved fingerprinting using kNN, Euclidean distance and Kalman filter. The academic paper presents the results taking in consideration the hit percentage of mapped points and the maximum error margin by meters for every proposed method.

Palavras-chave: Geolocation, *Fingerprinting*, Trilateration, *Beacon*, *Bluetooth*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Abrangência sinal bluetooth.....	18
Figura 2 - Representação do sinal espalhado.....	21
Figura 3 - Representação do sinal Refletido.....	22
Figura 4 - Representação do sinal refratado e refletido.....	23
Figura 5 – Amostra de sinal com filtro e sem filtro de Kalman.....	24
Figura 6 - Modelo de cálculo de trilateração.....	26
Figura 7 - Análise dos vizinhos mais próximos das classes.....	30
Figura 8 - Cálculo entres dois pontos utilizando a distância Euclidiana.....	31
Figura 9 - Imagem da tela principal do aplicativo.....	42
Figura 10 - Posição dos beacons no ambiente de teste.....	43
Figura 11 - Análise variações da potência do sinal RSSI entre pontos fixos.....	44
Figura 12 - Análise variações da potência do sinal RSSI entre pontos fixos.....	45
Figura 13 - Análise potência do sinal RSSI filtro de kalman.....	47
Figura 14 - Coleta potência de sinal dos beacon após filtro de Kalman.....	48
Figura 15 - Demonstração dos sinais obtidos pela trilateração.....	49
Figura 16 - Amostra mapa de sinais coletada no ambiente.....	50
Figura 17 - Pontos de dispersão utilizando trilateração.....	51
Figura 18 - Pontos de dispersão utilizando trilateração.....	51
Figura 19 - Pontos de dispersão utilizando trilateração.....	52
Figura 20 - Quantidade de acertos primeiro teste algoritmo de trilateração.....	53
Figura 21 - Quantidade de acertos segundo teste algoritmo de trilateração.....	53
Figura 22 - Amostra mapa de sinais coletada no ambiente.....	54
Figura 23 - Acertos na fase on-line comparando com vintes amostras coletadas.....	56
Figura 24 - Demonstração acertos com cem amostras na base dados.....	57
Figura 25 - Ilustração posições dos beacons no ambiente.....	57
Figura 26 - Primeiro teste, acertos utilizando 4 beacons e cem amostras na fase off-line.....	58
Figura 27 - Segundo teste, acertos utilizando 4 beacons e cem amostras na fase off-line.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de sinais de radio frequência, alcance e taxas	20
Tabela 2 - Exemplo de amostras de sinal	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A-GPS	Sistema de posicionamento Global Assistido
AOA	<i>Angle of arrival</i>
AP	<i>Acess-point</i>
API	Interface de Programação de Aplicativos
BLE	<i>bluetooth low energy</i>
DBm	Decibel miliwatt
GPS	Sistema de posicionamento Global
HMM	Modelos Escondidos de Markov
HZ	Hertz
IA	Inteligência artificial
ID	Identificador
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
Knn	<i>K-nearest neighbors</i> ou modelos de vizinhos mais próximos
LEM	<i>Layer management entity</i>
MAC	<i>Media access control</i>
PHY	<i>Physical layer</i>
RSSI	<i>Received signal strength indicator</i>
TDOA	<i>Time Difference of Arrival</i>
TOA	<i>Time of Arrival</i>
WBLS	Nome de um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REDE WIRELESS	17
2.1 COMUNICAÇÃO BLUETOOTH	17
2.1.1 Dispositivos beacons	17
2.1.2 Protocolos de Comunicação	18
2.2.1 Espalhamento de sinal	20
2.2.2 Atenuação de sinal	21
2.2.3 Intensidade do Sinal	21
2.2.4 Reflexão de sinal	22
2.2.5 Refração de sinal	22
2.3 FILTRO DE KALMAN	23
3 MODELOS DE ORIENTAÇÃO	25
3.1 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS	25
3.2 MÉTODOS DE TRILATERAÇÃO	26
3.3 MAPA DE SINAIS RSSI	27
3.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	28
3.4.1 Aprendizado de máquina	28
3.4.2 Modelos de vizinhos mais próximos	29
3.4.3 Distância Euclidiana	30
3.5 MÉTODOS DE PROXIMIDADE	31
3.6 MÉTODOS PROBABILÍSTICOS	31
4 TRABALHOS CORRELATOS	33
4.1 FERRAMENTA PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTE CONTROLADO UTILIZANDO MAPA DE SINAIS WIRELESS	33
4.2 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO BASEADO EM REDES Wi-Fi	34
4.3 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS EM REDES Wi-Fi	35
4.4 UM ESTUDO SOBRE ABORDAGENS PARA LOCALIZAÇÃO INDOOR	36
4.5 BLUETOOTH LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS	38

4.6 LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO TRILATERAÇÃO	40
5 LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS	42
5.1 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO MOBILE.....	42
5.2 ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTE CONTROLADO	44
5.2.1 Fórmula para obter a distância	45
5.3 FILTRO DE KALMAN	46
5.4 IMPLEMENTAÇÃO DA TRILATERAÇÃO	48
5.4.1 Resultados Trilateração.....	50
5.5 FINGERPRINTING.....	54
5.5.1 Implementação do algoritmo kNN.....	55
5.5.2 Teste de validação da técnica de fingerprinting.....	56
5.6 RESULTADOS OBTIDOS	59
6 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE(S)	65

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com a popularização dos dispositivos móveis percebe-se a necessidade de aplicativos de geolocalização para ambientes fechados utilizando meios tecnológicos para orientar na locomoção de pessoas em ambientes públicos. Visando o aumento significativo nas vendas de dispositivos móveis no Brasil, nesse projeto utilizou-se o sinal *bluetooth*, pois é largamente disposto dessa tecnologia nos dispositivos móveis.

Presentes em casa, no trabalho, nas instituições educacionais, aeroportos, as redes sem fios são uma das mais importantes tecnologias de rede para acesso à internet, entre as tecnologias de redes sem fio, será utilizado o *bluetooth* baseado nos padrões *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.15.1 que opera sobre uma faixa, a baixa potência, e a um custo baixo para interconectar *tablets*, aparelhos periféricos, telefones celulares, notebooks, entre outros (RODRIGUES, 2013).

Uma solução para ambientes externos é o *Global Positioning System* (GPS) que utiliza de coordenadas geográficas e da altitude de um ponto que são lidas por meio de um processo de triangulação ou multiangulação, no qual são selecionados, no mínimo, os quatro satélites melhor posicionados em relação aos aparelhos situados na superfície terrestre (FITZ, 2008).

Mesmo com a evolução do GPS que tem sido aperfeiçoado com a utilização de novas tecnologias, dentre estas podemos citar o A-GPS, que é um sistema que realiza comunicação não só com satélite, mas também com antenas de celulares, é inviável a utilização em ambientes fechados, pois nesses ambientes possuem muitos obstáculos no qual diminuem a precisão e alguns locais fica impossibilitado a comunicação.

Utilizando esses sinais de radiofrequência, o objetivo é desenvolver um protótipo utilizando um mapa de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), o mapeamento de sinais registrados em uma base de dados em decibel miliwatt (dBm), que servem como referência para localização do sistema. Este processo é realizado em duas fases: *off-line* e *on-line*. Durante a fase *off-line*, a qual deve ser executada apenas uma vez, é feito um mapa de sinal que registra a potência do sinal obtido pelo receptor em um banco de dados para posteriormente comparar em tempo real na fase *on-line*. A trilateração e a multilateração utilizam a distância entre

o aparelho receptor e a antena e tem como objetivo utilizar posições fixas dos emissores e a distância que cada uma está em relação a um mesmo ponto, cuja posição é desconhecida (FAGUNDES, 2008; MOURA, 2007).

1.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar de coordenadas geográficas para localização em ambientes fechados a partir da tecnologia *bluetooth*, realizando uma análise comparativa entre os métodos de trilateração e *fingerprinting* com objetivo de obter resultados comparativos de estabilidade, confiabilidade e precisão da localização do dispositivo móvel.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- a) desenvolver um aplicativo capaz de captar sinais *bluetooth* afim de obter a localização em ambientes fechados;
- b) realizar análise de estabilidade da potência RSSI do sinal recebido dos *beacons*;
- c) modelar uma inteligência computacional com as técnicas de *fingerprinting* e trilateração para localização dos dispositivos através da comunicação com os *beacons*;
- d) comparar os dados através de testes no ambiente e apresentar os resultados obtidos dos métodos propostos;
- e) apresentar as comparações aplicadas na construção de um sistema de geolocalização utilizando o *bluetooth*.

1.3 JUSTIFICATIVA

A localização de pessoas, salas ou endereços dentro de ambientes fechados, nem sempre é uma tarefa fácil, uma vez que, estes ambientes são cada vez maiores e mais complexos. Neste contexto, podemos citar supermercados, shoppings, aeroportos, eventos, parques, campus universitários, prédios públicos, hospitais entre outros. Alguns destes estabelecimentos possuem mapas indicando os principais pontos, porém, muitos deles são confusos e pouco funcionais, ou, em alguns casos nem existem. Tendo em vista a alta concentração de pessoas em estabelecimentos deste tipo, associada à crescente demanda por informações rápidas precisas e acessíveis, identifica-se a necessidade de aperfeiçoar tecnologias que venham a contribuir para suprir esta necessidade. Outro fator importante, que podemos ressaltar, é a popularização dos smartphones, a qual influenciou diretamente no uso do mesmo para diversas finalidades. Os smartphones vem se popularizando nos últimos anos e com valor mais acessível a todos as classes sociais.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho é dividida em seis capítulos, no primeiro capítulo é explícito os conceitos do trabalho dividido na introdução, objetivo geral da pesquisa, os objetivos específicos e a justificativa para a realização deste estudo.

O segundo capítulo apresenta uma pesquisa sobre sinais de rádio frequência, redes sem fio, propagação de sinal e técnicas de geolocalização para dispositivos móveis utilizando destas tecnologias abordadas.

O terceiro capítulo aborda os modelos de orientação e localização, realizando um levantamento entres pesquisas realizadas por outros trabalhos, a fim de comparar entre os modelos de localização para ambientes fechados a melhor opção para utilizar no protótipo. Também abrangem os modelos lógicos, algoritmos da teoria de grafos e inteligência artificial, que serão utilizados para auxiliar na localização e orientação de forma a melhorar a precisão e confiabilidade do sistema.

No quarto capítulo são apresentados trabalhos correlatos à pesquisa proposta, nestes, são relatados os trabalhos relacionados aos propostos nesta

pesquisa, incluindo sinais de rádio frequência e algoritmos de localização para ambientes fechados.

O quinto capítulo apresenta o trabalho desenvolvido e resultados obtidos. Na primeira parte do capítulo são relatadas as técnicas e como foram utilizadas. Em seguida foram coletados os dados para demonstrar o desempenho dos dois algoritmos no ambiente realizando a comparação entre as duas técnicas propostas.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões obtidas durante a implementação e testes utilizando o protótipo desenvolvido.

2 REDE WIRELESS

Presente no local de trabalho, em casa, nas instituições educacionais, aeroportos e esquinas, as redes sem fios são uma das mais importantes tecnologias de rede para acesso à internet. A comunicação Wireless é a transferência de dados ou informações entre dois ou mais pontos que não estão conectados fisicamente por um condutor elétrico, essa tecnologia funciona através de rádio frequência, que são comunicações via ondas de rádio, ou seja, faz comunicação entre emissor e receptor, onde emissor envia sinais de radiofrequência que são captados por um aparelho receptor (KUROSE, 2010; MOURA, 2007).

2.1 COMUNICAÇÃO BLUETOOTH

Entre as tecnologias de redes sem fio, 802.11 está sendo uma das principais tecnologias de acesso à internet, muitos confundem e associam o padrão 802.11 como Wi-Fi, mas Wi-Fi é uma tecnologia de rede local sem fios WLAN baseado nos padrões do IEEE representado pelo nome 802.11, que opera em faixas de frequências que não necessitam de licença para instalação e operação.

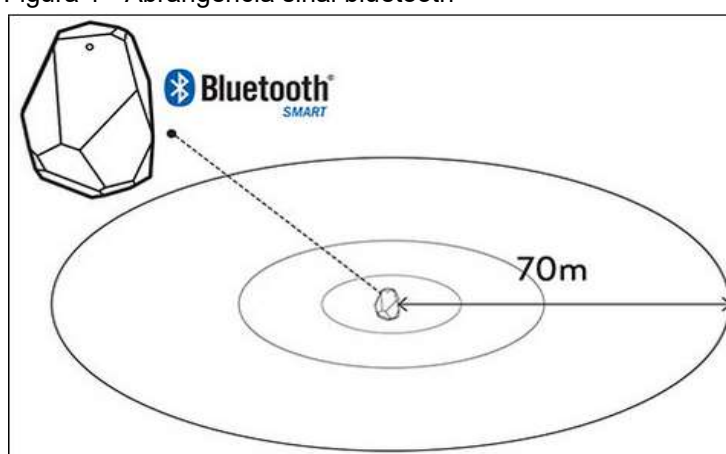
Nesse trabalho foi utilizado o padrão 802.15.1 popularmente conhecido como *bluetooth*. Os sinais *bluetooth* serão transmitidos pelos beacons, que são transmissores de pequeno tamanho, e atuam como antenas e transmitem sinal *broadcast*, enviando um identificador único para os dispositivos que estiverem ao alcance. Atualmente *bluetooth* utiliza o mesmo tipo de ondas de rádio dos roteadores Wi-Fi, operando na frequência 2.4Ghz (BEKKELIEN, 2012).

2.1.1 Dispositivos beacons

Uma rede IEEE 802.15.1 ou *bluetooth* opera sobre uma faixa, a baixa potência, e a um custo baixo para interconectar *tablets*, aparelhos periféricos, telefones celulares, notebooks, etc. Utiliza uma frequência de rádio com ondas curtas, não consegue um alcance muito longo se comparado com outras tecnologias, de uma forma geral seu alcance pode chegar até 70 metros em locais sem obstáculos, conforme ilustrado na figura 1. A tecnologia *bluetooth* evoluiu e está

na versão 4.0, conhecido como *bluetooth Low Energy* (BLE). Nessa versão traz alguns aprimoramentos em relação à anterior no qual consumia mais energia e exigia o pareamento. Estes dispositivos podem funcionar por até 2 anos com uma única bateria de moeda, claro que com uso moderado dependendo da frequência que eles transmitem as informações, podem variar o consumo da bateria. Uma das principais vantagens do *bluetooth* é que essa tecnologia se encontra incorporada na maioria dos dispositivos móveis (RODRIGUES, 2013).

Figura 1 - Abrangência sinal bluetooth



Fonte: Estimote (2015).

Na versão bluetooth 4.0 os dispositivos podem receber o sinal de rádio *bluetooth* sem pareamento, mesmo que nunca tenha se conectado anteriormente. Com a propagação de sinal visível é possível medir a intensidade do sinal recebido, quanto mais perto estiver da antena, a intensidade do sinal será maior, com essa potência recebida podem-se manipular esses dados para obter a geolocalização. Também é possível alterar a frequência do sinal para cada segundo ou 5 vezes por segundo alterando a frequência. Os dispositivos podem captar o sinal a partir de mais de uma antena ao mesmo tempo, pois cada antena enviará para o dispositivo um identificador, no qual cada uma conterá informações exclusivas. Se houver três ou mais antenas dentro do alcance, o dispositivo poderá calcular a distância de cada antena e usar esses dados para estimar a sua posição no espaço geográfico.

2.1.2 Protocolos de Comunicação

Um protocolo de comunicação é uma regra definida que controla e possibilita uma conexão, comunicação e transferência de dados entre dois sistemas de computadores. São utilizadas regras e padrões para garantir a integridade dos dados através da definição de sintaxe, semântica e sincronização de possíveis métodos de recuperação quando ocorre erros na comunicação (SAKAI, 2012).

Os protocolos são definidos com objetivo de conseguir realizar a troca de mensagens, onde cada mensagem tem um significado exato destinado a provocar uma resposta de uma gama de respostas possíveis pré-determinada para uma determinada situação. Portanto, para que dois sistemas se comuniquem é necessário que as partes envolvidas entrem em acordo para definição do protocolo, geralmente são definidas pelos fabricantes de hardwares e softwares através de convenções (SAKAI, 2012).

2.1.2.1 Protocolo Eddystone

Eddystone é um protocolo utilizado para comunicação com *beacons*, que utilizam a tecnologia BLE. Embora seja muito semelhante ao *ibeacon*, que é o protocolo desenvolvido pela Apple, o *Eddystone* possui a vantagem de ser de código aberto e pode ser implementado sem restrições (GOOGLE, 2016, tradução nossa).

O *beacon* apenas transmite o sinal *bluetooth* que se utilizado com Eddystone pode-se obter nos dispositivos uma melhor indicação da potência do sinal recebido, assim conseguindo realizar a geolocalização e saber quais objetos e lugares estão ao seu redor. Os *beacons* não permitem armazenar dados nele próprio, nesse caso para estimar a localização os dados devem ser tratados na aplicação utilizando a potência do sinal e o identificador único fornecido pelo beacon (ESTIMOTE ,2016, tradução nossa).

2.2 TRANSMISSÃO DE RADIO

As ondas de rádio são fáceis de gerar, percorrem longas distâncias e são capazes de ultrapassar obstáculos tais como prédios e estão sendo largamente utilizadas. Na tabela 1 podem-se observar os diversos padrões e frequências no qual refletem diretamente no alcance do sinal. As propriedades das ondas de rádio nas frequências baixas atravessam os obstáculos, mas a potência cai de forma bruta à

medida que a distância aumenta. Nas frequências altas, essas ondas tendem a viajar em linhas retas e ao bater em obstáculos tendem a desviar e podem ser absorvidas pela água. Alguns fatores importantes são que todas as frequências estão sujeitas a interferência de motores, aparelhos de micro-ondas, entre outros equipamentos elétricos (TANEMBAUM, 1997).

Tabela 1 - Lista de sinais de radio frequência, alcance e taxas

Padrão IEEE	Frequência	Alcance (Outdoor)	Taxa
802.15.1	2.4GHz	<10m	723Kbps
802.15.3	2.4GHz	30-50m	10-55Mbps
802.15.3 ^a	3.1-10.6 GHz	<10m	110-480Mbps
802.15.4	868M, 915M, 2.4G	10-75m	20-250Kbps
802.11 ^a	5GHz	<50m	6-54Mbps
802.11b	2.4GHz	<100m	2-11Mbps
802.11g	2.4GHz	<100m	20-54Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	<250m	150-300Mbps
802.16	10-66GHz	≅ 10km	60-100Mbps
802.16	2-6GHz	≅ 10km	70Mbps

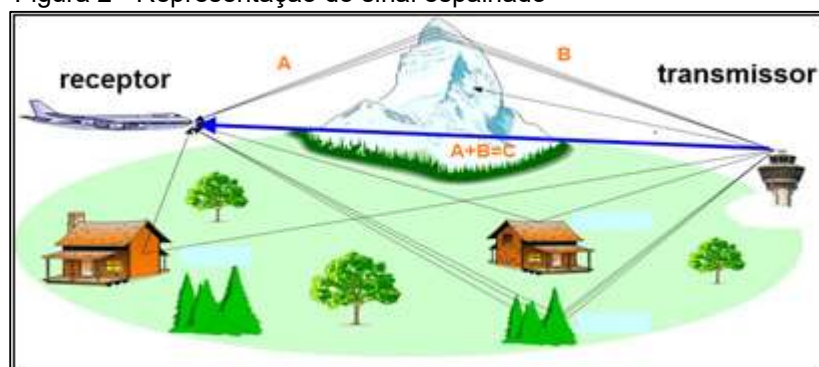
Fonte: Pietro Souza (2007).

Os sinais de rádio frequência são vulneráveis a influências de propagação que alteram suas características, dentre esse contexto para desenvolver sistemas geolocalização é importante relacionar os comportamentos dos sinais, que podem sofrer com refração, multicaminhos, atenuação, e outros, que interferem diretamente nessas redes (MEDEIROS, 2007; REAL, 2012).

2.2.1 Espalhamento de sinal

O espalhamento ou múltiplos caminhos ocorre quando o sinal é refletido, difratado e espalhado, dessa forma criando mais de um caminho disponível para a propagação do sinal de rádio entre transmissor e receptor como pode ser observado na figura 2.

Figura 2 - Representação do sinal espalhado



Fonte: Monks (2008)

Essas ondas secundárias de diferentes percursos chegam ao receptor com diferentes intensidades, a partir disso o receptor realiza a soma dos vetores dos diversos sinais captados pela antena, e realiza esta soma para chegar ao sinal original, na figura 2 observa-se a soma entre A e B resulta na transmissão original denominada C (MEDEIROS, 2007; SANCHES, 2005).

2.2.2 Atenuação de sinal

Atenuação é a perda de energia à medida que o sinal se propaga externamente. Esses sinais perdem forças à medida que se distância da origem ou quando atravessam algum tipo de matéria. Por exemplo ao atravessar um prédio, o sinal se dispersará, resultando na perda de sua força à medida que aumenta a distância entre emissor e receptor causando interferências e até perdas de comunicação (KUROSE, 2010; TANEMBAUM, 1997).

2.2.3 Intensidade do Sinal

A intensidade do sinal é medida pela unidade de medida RSSI, essa é uma medida da energia presente em um sinal de rádio recebido, normalmente é invisível ao utilizador de um dispositivo de recepção, no entanto, a força do sinal pode variar muito e afetar a funcionalidade em redes sem fio. Esta intensidade pode variar de acordo com objetos existentes no ambiente e interferências de outros sinais. Entre as interferências mais comuns podem-se citar paredes, pessoas, água, até mesmo o ângulo da antena, ou seja, vários tipos de matérias podem ser

obstáculos e causar algum tipo de interferência. Através do RSSI é possível verificar potência de transmissão do equipamento, ganho das antenas locais e remotas e atenuação no espaço livre (REAL, 2012).

2.2.4 Reflexão de sinal

A reflexão de uma onda ocasiona a inversão da fase da onda como pode ser observado na figura 3. As consequências dessa inversão ocasionam perdas de sinais, interferências ou até mesmo a perda total do sinal (REAL, 2012).

Figura 3 - Representação do sinal Refletido



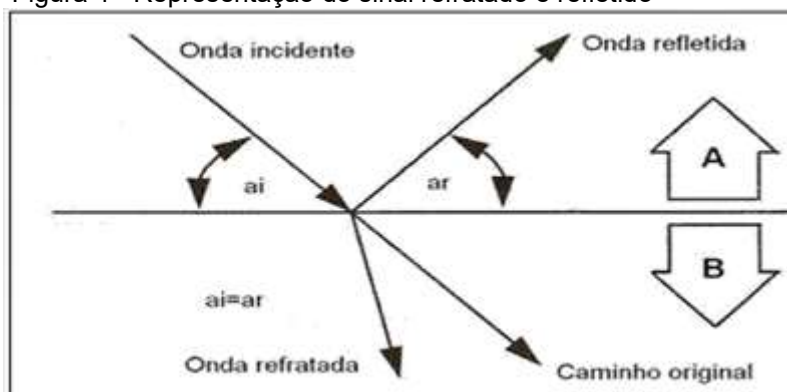
Fonte: Moura (2005)

Quando o sinal se depara com o obstáculo, o sinal refletirá de acordo com o ângulo do raio incidente. Para exemplificar, quando se observa um lago, dependendo das condições não irá conseguir ver o fundo do lago, pois a luz refletirá o céu ou outras coisas ao redor, de acordo com o ângulo que se olhar, a mesma coisa funciona para os sinais de rádio frequência (REAL, 2012).

2.2.5 Refração de sinal

As ondas ao atravessar alguns meios de diferentes densidades, podem sofrer refração, que são desvios do seu trajeto original. As ondas atravessarão o obstáculo, porém sofrerão distorção. O sinal ao colidir com o obstáculo desvia e altera o seu percurso original, conforme ilustrado na figura 4 (KUROSE, 2010).

Figura 4 - Representação do sinal refratado e refletido



Fonte: Ericsson (2000)

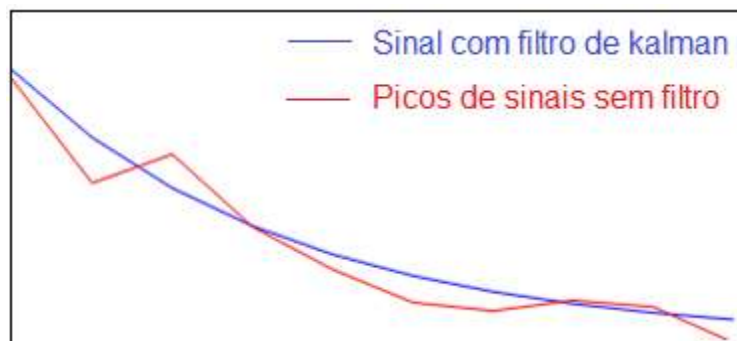
A partir desses conceitos sobre interferências no sinal, entende-se a necessidade de encontrar técnicas para estabilizar o sinal, diminuindo a quantidade de picos nos sinais recebidos pelo receptor. Nesse trabalho foi utilizado para essa função o filtro de Kalman, que é um método utilizado para reduzir ruídos.

2.3 FILTRO DE KALMAN

O filtro de Kalman é utilizado para medir grandezas ao longo do tempo, principalmente dados que contém ruídos. Após ler as medições realiza os tratamentos que tende a aproximar os valores associados. Esse método é utilizado em várias áreas, principalmente nas engenharias que desenvolvem equipamentos para tecnologias espaciais e militares (Almeida, 2014).

O filtro reproduz estimativas dos valores reais a partir do histórico dos valores medidos, estimando a incerteza através de uma média ponderada entre os valores registrados anteriores e o valor medido atual. Geram-se estimativas através de métodos que tendem a estar mais próximas dos reais que as medidas originais, pois a média ponderada apresenta uma melhor estimativa de incerteza que ambos os valores utilizados no seu cálculo. Na figura 5 está sendo representado um sinal com utilização do filtro e sem filtro (Almeida, 2014).

Figura 5 – Amostra de sinal com filtro e sem filtro de Kalman



Fonte: Ericsson (2000)

O filtro possui capacidade de se adaptar a variações de frequência, se ajustando a nova frequência do sinal estabelecido em curto período de tempo sem reproduzir as oscilações dos sinais (SAMBUGARI JUNIOR, 2016).

Vários métodos podem ser definidos para a aquisição da frequência do sinal, como alterar o tamanho da amplitude de amostras de acordo com o período do sinal ou incrementar a amplitude do sinal digital para conservar um número de amostras fixas (MARAFÃO et al., 2005).

3 MODELOS DE ORIENTAÇÃO

Para determinar uma posição no espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos, através de tecnologias digitais, deve-se levar em conta uma série de conhecimentos e informações que podem ser trabalhados de maneira, ágil, fácil e rápida com as novas tecnologias. As geotecnologias ocupam um lugar de destaque em virtude de sua funcionalidade. A orientação é obtida por meio de coordenadas geográficas e da altitude de um ponto através de técnicas que são lidas por meio de um processo semelhante à triangulação. O GPS se comunica no mínimo com os quatro satélites melhores posicionados em relação aos aparelhos situados na superfície terrestre, através das coordenadas consegue identificar a localização do dispositivo receptor. (FITZ, 2008).

Os sistemas de localização determinados por satélites têm dificuldades de estimar posições em ambientes fechados, pois possuem obstáculos que dificultam e tornam a precisão ruim dentro desses ambientes, portanto para esse trabalho será utilizado o sinal de rádio frequência *bluetooth*, aplicado em sistemas de geolocalização.

Existem três características que representam informações relevantes para a localização: ângulo do sinal, o instante em que o sinal chega e a potência do sinal. Essas informações podem ser utilizadas para estimar o tempo de percurso entre a antena emissora e receptora, e a potência com que esse sinal é recebido que pode ser chamado de RSSI. A partir desses dados podem-se combinar técnicas e cálculos específicos para determinar a posição em um ambiente interno.

3.1 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS

Sistemas de localização em ambientes internos, também conhecido como *indoor* são sistemas de geolocalização para lugares fechados. A forma que o sinal de radiofrequência se propaga tem influência na precisão da localização, uma das características desses ambientes é possuir inúmeros obstáculos estáticos, que obstruem e dificultam a comunicação entre a antena e o receptor. Os obstáculos estáticos são problemas previstos e que podem ser tratados posicionando as antenas transmissoras em locais que diminuem os obstáculos. O principal problema

e o mais difíceis de prever são objetos não-estacionário que podem ser pessoas, veículos, micro-ondas, telefones sem fio, entre outros aparelhos eletrônicos, ou objetos que circulam no ambiente (MOURA, 2007).

Um dos modelos utilizados para definir propagação de sinais de radiofrequência em ambientes fechados, foi utilizar uma relação linear através potência do sinal recebido, medida em RSSI, obtendo através dessa potência a distância entre a antena emissora e o dispositivo receptor (BARDWELL; MOURA, 2007).

3.2 MÉTODOS DE TRILATERAÇÃO

As técnicas de trilateração consistem em utilizar a distância entre o aparelho receptor e as antenas que emitem o sinal, a partir de três posições fixas dos dispositivos responsáveis por emitir o sinal, e a distância que cada uma está em relação a um mesmo ponto, cuja posição é desconhecida. De forma teórica ocorre a formação de três círculos com raios de tamanho variável, cada um possui um ponto desconhecido como centro, pode ser observado na figura 6 (REAL, 2012).

Figura 6 - Modelo de cálculo de trilateração



Fonte: Philipe (2014)

Alguns métodos de localização podem ser confundidos por serem parecidos, mas são técnicas diferentes, como é o caso da triangulação que ao invés de calcular pela distância, utiliza-se do ângulo de recebimento do sinal também conhecido como *Angle Of Arrival* (AOA) no qual utiliza fórmulas matemáticas para

calcular os ângulos obtidos dos emissores, assim recebendo a posição estimada (MOURA, 2007; REAL, 2012).

Tempo de chegada ou *Time of Arrival* (TOA) do sinal onde é necessário estar precisamente ajustado os relógios dos emissores e do receptor para que se possa realizar o cálculo do tempo de chegada menos o tempo de envio do sinal, dentre esse contexto, torna difícil a utilização na pesquisa proposta porque é difícil manter os relógios dos emissores e receptores em sincronia (MOURA, 2007; REAL, 2012).

Time Difference of Arrival (TDOA), é uma alternativa para o TOA no qual parte do mesmo princípio, porém ao invés de manter sincronia os emissores com os receptores, é mantido apenas os emissores em sincronia com relógios precisos, logo após receber o sinal, o receptor conseguirá estimar a hora exata através das combinações da hora de envio dos emissores, esta tecnologia é utilizada no GPS (LONGSDON, 1995).

Manter a hora dos emissores em sincronia ainda é muito difícil no qual a diferença de um segundo torna inviável a utilização destes métodos para tecnologias de rádio frequência. Portanto, foi escolhido a técnica de trilateração para ser utilizado no trabalho, esta técnica consiste em utilizar a potência do sinal recebido, que é medido através da unidade RSSI. A potência do sinal de cada emissor é utilizada para efetuar os cálculos de distância entre o dispositivo móvel e os *beacons*. Através da distância é possível estimar a posição no ambiente por meio da técnica de trilateração (MOURA, 2007; REAL, 2012).

3.3 MAPA DE SINAIS RSSI

Mapa de sinais RSSI ou Modelos discretos é utilizado para realizar estimativas de localização, que são registros de padrões de variação de determinados atributos, e servem como referência para localização do sistema. Este processo é realizado em duas fases: *off-line* e *on-line*. Durante a fase *off-line*, a qual tem que ser executada apenas uma vez, é feito um mapa de sinal que registra esses sinais em um banco de dados, estes dados podem ser considerados como sendo a coleção das medidas do RSSI para diferentes locais do ambiente, basicamente, esta técnica consiste em mapear o ambiente para posteriormente comparar em tempo

real, com os dados pré-armazenados em uma base de dados (FAGUNDES, 2008; MOURA, 2007).

De modo a utilizar a leitura do RSSI pelo dispositivo móvel em relação a um *access-point*, é possível estimar a distância entre eles. A distância entre dispositivos pode ser calculada através da potência de sinal, usando modelos matemáticos de propagação. Deve-se levar em consideração que em alguns casos podem sofrer divergências, pois na fase *off-line* obtém-se o mapeamento do sinal levando em consideração os obstáculos estáticos, que por sua vez na fase *on-line* podem existir obstáculos não-estáticos, que podem ser movimentação de pessoas e objetos no ambiente (CARVALHO, 2006; MOURA, 2007).

3.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Nascida oficialmente em 1956, a Inteligência Artificial (IA) está entre as Ciências mais recentes, desde o seu nascimento foram descobertas várias abordagens para utilização dessa teoria, no qual muitos cientistas, inclusive de outras áreas denominaram como à ciência com maior probabilidade de Ascensão, pois apesar de possuir conteúdo vasto, ainda há muito que ser descoberto sobre inteligência computacional (BITTENCOURT, 2006; LUGER 2004).

A IA pode ser definida como um ramo da Ciência da computação que se destina a criar teorias e modelos para a capacidade cognitiva, e também construir sistemas computacionais baseado nesses modelos, dentre esse contexto podemos citar automações inteligentes capazes de aprender, que estão relacionadas com pensamento humano, tomada de decisões, solucionar problemas e aprendizado das máquinas (BITTENCOURT, 2006; RUSSEL; NORVIG, 2004).

3.4.1 Aprendizado de máquina

Para um sistema possuir Inteligência Artificial, aprender é o fundamento essencial para ser determinado como inteligente de uma forma geral, devem ser capazes de se adaptarem ao longo do curso naturalmente para melhor interação com o mundo, ou seja, ele deve melhorar a partir de cada tarefa realizada (LUGER, 2004).

Existem poucos sistemas realmente inteligentes no mercado, uma das causas é a dificuldade de se construir em relação a um sistema tradicional estático que apenas faz o que foi programado, sendo assim torna-se maiores custos de desenvolvimento, uma das soluções para esse problema seria implementando inteligência com uma quantidade mínima e ir acrescentando a medida que forem descobrindo-se novas atualizações (LUGER, 2004).

Aprendizagens de máquinas costumam se distinguir em três casos: aprendizagem supervisionada, não supervisionada e por esforço (RUSSEL; NORVIG, 2004).

Aprendizagem supervisionada envolve aprendizagem de uma função a partir de exemplos de suas entradas e saídas, ou seja, a partir de uma entrada obterá saídas definidas (RUSSEL; NORVIG, 2004).

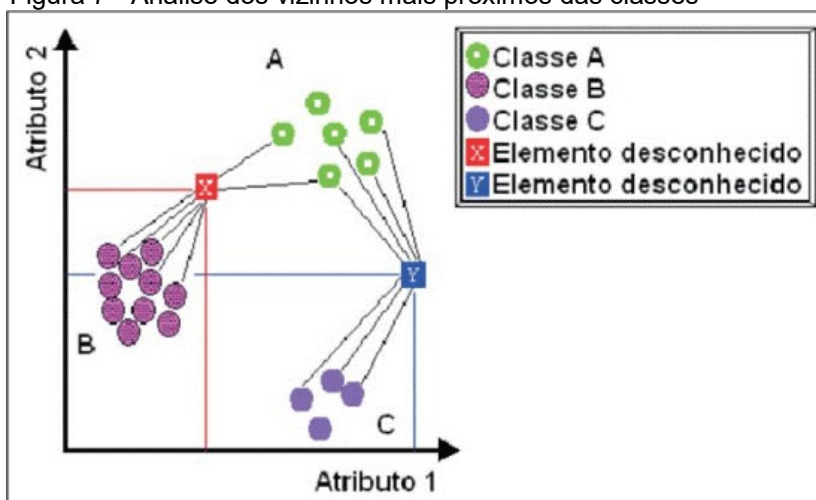
Aprendizagem não supervisionada envolve aprendizagem de padrões na entrada, quando não são fornecidos valores de saída específicos (RUSSEL; NORVIG, 2004).

A aprendizagem por esforço não é informada sobre o que fazer por um instrutor, esse aprendizado utiliza um agente de aprendizagem por reforço, ou seja, aprender a partir de uma ação indesejada. Pode-se exemplificar quando um taxista faz a corrida e não ganha gorjeta no fim da viagem, nesse caso indica que o comportamento do taxista é indesejável e terá que se readaptar para melhorar esse perfil (RUSSEL; NORVIG, 2004).

3.4.2 Modelos de vizinhos mais próximos

Algoritmo de k-nearest neighbors (kNN) ou modelos de vizinhos mais próximos baseia-se em um ponto de entrada, e busca a probabilidade de serem semelhantes às propriedades de pontos na vizinhança, ou seja, ele é utilizado em funções de distância ou similaridade. Na figura 7 deseja-se descobrir em qual grupo pertence aqueles dois elementos desconhecidos, baseado nas informações da imagem percebe-se que o elemento desconhecido X faz parte da classe B, por possuir o maior número de vizinhos mais próximos, e o elemento desconhecido Y pertence à classe A (LUGER, 2004).

Figura 7 - Análise dos vizinhos mais próximos das classes



Fonte: Martins (2005)

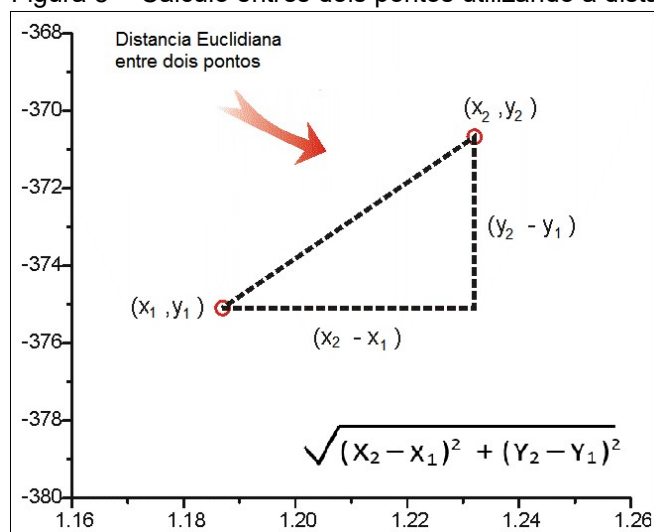
Esse algoritmo é utilizado para determinar o posicionamento de geolocalização, a partir de comparações da fase *on-line* com a fase *off-line* que contém os dados coletados da antena Wi-Fi ou *bluetooth*. Esses sinais geram latências inconstantes, é onde entra o algoritmo de vizinho mais próximo, que analisa dentro um mapa de sinal RSSI, gerando resultados aproximados a partir de classes conhecidas. Portanto, por meio dessas comparações é possível obter a distância e determinar a localização com melhor precisão.

3.4.3 Distância Euclidiana

A distância Euclidiana consiste em obter a distância entre pontos através do teorema de Pitágoras. Nesse trabalho o método matemático foi utilizado com as técnicas de *fingerprinting com kNN* e trilateração. Na técnica kNN é necessário conhecer a distância entre as classes das amostras do mapa de sinal realizado na fase *off-line* e comparado posteriormente na fase *on-line*. Na trilateração foi utilizado para determinar qual ponto mapeado no ambiente está mais próximo do ponto estimado pelo algoritmo.

Na figura 8 está representado um gráfico cartesiano e a fórmula utilizada para determinar a diferença da distância entre os pontos 1 e 2. O cálculo é obtido através da raiz da somatória das diferenças absolutas entre suas coordenadas ao quadrado. (BERGAMASCO, 2010).

Figura 8 - Cálculo entres dois pontos utilizando a distância Euclidiana



Fonte: Halabisky (1999)

A fórmula da distância Euclidiana foi escolhida pela simplicidade de tornar o espaço Euclidiano um espaço métrico. A unidade de medida em metros é necessária para estimar a posição real no ambiente por meio das técnicas propostas no trabalho.

3.5 MÉTODOS DE PROXIMIDADE

Nesta técnica a posição é estimada através de sua proximidade com a antena emissora, consegue apenas identificar a proximidade, mas não a distância exata, pois o posicionamento será identificado por um determinado ponto no mapa, mas não consegue determinar o posicionamento exato dentro daquele local mapeado. Dependendo do tipo de aplicação que se deseja desenvolver, pode ter diferentes resultados da localização, nesta aplicação do trabalho proposto não será útil, pois precisa tratar de obter um algoritmo com melhor precisão possível para ser possível aplicar em um aplicativo geolocalização confiável (REAL, 2012; RODRIGUES, 2013).

3.6 MÉTODOS PROBABILÍSTICOS

Os métodos probabilísticos consideram informações que são conhecidas através de coletas de cada ponto que são analisadas individualmente, possui mais

eficácia que técnicas do modelo determinístico, como TDOA, AOA e TOA, pois armazena maiores quantidades de informações e utiliza esses dados para posicionar levando em consideração a posição anterior e a probabilidade para onde irá se locomover e assim tendo a posição atual do dispositivo móvel, sendo possível um processamento na fase de calibração com maior quantidade de dados, dessa forma distribuindo valores em mapa de RSSI dos pontos referenciados no mapa para localização, dessa forma obtém na fase *on-line* um bom desempenho (MOURA, 2007; REAL, 2012).

4 TRABALHOS CORRELATOS

As Pesquisas relacionais dos trabalhos correlatos ampliam o conhecimento do estudo que está sendo desenvolvido e auxiliam de maneira satisfatória e objetiva a obter resultados melhores.

Neste capítulo são demonstrados os trabalhos correlatos importantes para complementação dos estudos, onde serão baseados na fundamentação teórica, metodologias e conclusões.

4.1 FERRAMENTA PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTE CONTROLADO UTILIZANDO MAPA DE SINAIS WIRELESS

O trabalho de conclusão de curso para o grau de Bacharel em Ciência da computação, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), propõe uma ferramenta que tem a função de auxiliar pessoas com dificuldades de locomoção em ambientes fechados, utilizando como método de localização a tecnologia de redes Wireless baseado no padrão IEEE 802.11 ou Wi-Fi, utilizando as potências desses sinais para criar mapas de sinais RSSI para definição da geolocalização do dispositivo móvel e fazer rotas para auxiliar pessoas com deficiência visual.

As necessidades de acessibilidade e uso de tecnologias assistivas para dar suporte a estas necessidades. No entanto, quando se trata de um ambiente fechado, é necessária uma ferramenta que tenha mapeado os pontos disponíveis para acesso dentro deste ambiente. Com base neste mapeamento e em técnicas que permitam situar o dispositivo móvel dentro desta base, tem-se a possibilidade de indicar os diversos caminhos possíveis para atingir o objetivo traçado (FIERA, 2013).

Após os testes realizados o autor concluiu que é possível criar uma ferramenta de localização utilizando os mapas de sinais Wireless, e que utilizou algumas técnicas para conseguir manter a localização mesmo com a instabilidade dos sinais Wireless que variavam de acordo com fatores externos que alteram a latência do sinal. O algoritmo para localização foi aperfeiçoado durante o desenvolvimento do protótipo, pois inicialmente estimava-se que as potências de sinal Wi-Fi emitidas em um ambiente fechado tivessem um comportamento estável, o que não se verificou na prática. Com isso, os estudos voltaram-se a busca de um

algoritmo de inteligência computacional que pudesse realizar esta tarefa de determinação da localização do dispositivo móvel. Neste caso, utilizou-se o algoritmo kNN que se mostrou eficiente em 60% dos testes efetuados na fase *on-line* (FIERA, 2013).

A orientação do usuário após a localização do dispositivo móvel por meio do algoritmo kNN, e da escolha do ponto de destino utilizando a interface mobile, foi implementada por meio do algoritmo de Dijkstra em conjunto com a API da linguagem que transforma texto em sintetização de voz. Sendo assim em ambiente de pesquisa, foi satisfatório os resultados obtidos da aplicação de localização e orientação, para deficientes visuais baseado no modelo definido (FIERA, 2013).

4.2 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO BASEADO EM REDES WI-FI

Este trabalho foi desenvolvido a fim de obter o título de Bacharel em Ciências da Computação, na Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), no qual defende a dificuldade em se utilizar Sinais GPS dentro de ambientes fechados por interferência de obstáculos, no qual aumenta as taxas de erros, dentre esse contexto salienta a necessidade de um sistema de geolocalização para auxiliar no posicionamento do usuário dentro de ambientes previamente mapeados (REAL, 2012).

O desenvolvimento foi realizado utilizando a plataforma Android e seus recursos integrados, como o Google Maps e banco de dados SQLite. A técnica para criação do algoritmo de posicionamento foi um modelo híbrido de algoritmos, que utiliza como base o mapa de RSSI, Algoritmo de KNN e Lógica Fuzzy. O RSSI é a medida de intensidade do sinal recebido pelo dispositivo receptor, essa intensidade pode variar de acordo com objetos existentes no ambiente, paredes, portas, ângulo da antena, entre outros obstáculos que podem causar algum tipo de interferência, será dividido em duas etapas, a fase *on-line* e a fase *off-line*, dentro do mapa será retirada amostras de pontos isolados do local mapeado para que depois na fase *on-line* possa utilizá-las para comparar com a fase real, como a instabilidade de sinal, utiliza-se algoritmo de KNN, que é uma técnica da Inteligência Artificial, no qual baseia o método k-NNSS, que calcula a localização baseando-se nos vizinhos mais próximos. Com o objetivo de diminuir a taxa de erro médio para determinar a

localização da distância, ou seja, dentro do mapa de potência de sinal gravado no banco de dados, foi utilizado para definir o ponto mais próximo definido pelas potências de sinais recebidas dos Access-Point (REAL, 2012).

Foi utilizada a lógica fuzzy para diminuir a complexidade do algoritmo e aumentar a precisão, ajudando a definir estados indeterminados para as distâncias euclidianas encontradas entre a leitura da fase *off-line* e *on-line*, para que sejam utilizadas como peso para o cálculo do posicionamento, dessa forma auxiliando o algoritmo de KNN. Para a validação do sistema proposto, foram realizados testes pelo autor verificando a taxa de erro médio alcançada e desempenho geral do protótipo, foram realizados utilizando como mapa local uma residência, e dois pontos de acesso com qualidade de sinal distintos. Na fase *off-line* foram cadastrados cerca de 25 pontos para o mapa, no qual os resultados mostram que o erro médio geral atingido é de 1.53 metros, com base nos testes realizados, os resultados foram considerados satisfatórios foi possível testar as funcionalidades e realizar correções na aplicação, mas ainda é necessário realizar alterações para que alguns requisitos sejam atingidos totalmente em futuras versões (REAL, 2012).

4.3 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS EM REDES WI-FI

WBLS foi desenvolvido a fim de conceber o título de mestre em Engenharia Elétrica, no qual defende a tese de utilizar redes locais sem fio padrão IEEE 802.11 para geolocalização em ambientes controlados, afim de pesquisar sinais wireless e utilizar algoritmos que descartam os sinais com ruídos existentes na rede, gerando uma estatística comparativa sobre a qual seria mais viável, uma aplicação normal para localização de pessoas e ambientes fechados ou o WBLS que incorpora este conceito de eliminar sinais com ruídos.

Foi utilizado mapas de sinais onde são gravadas informações da potência do sinal recebida do aparelho Wi-Fi, combinada com algoritmos específicos para aumentar a precisão da localização. Para definir rotas e trajetos mais curtos foi utilizada a técnica de Dijkstra, que é uma área de estudo da Teoria dos Grafos.

Foi utilizada uma técnica que consiste em gravar as informações da potência recebida do sinal RSSI juntamente com a frequência de presença de sinal coletada de múltiplos pontos de acesso Wi-Fi em um banco de dados, de diferentes

localizações físicas no ambiente. Mesmo com essa técnica ainda existem alguns problemas que devem ser tratados bem como a inconsistência dos sinais Wi-Fi que sofrem interferências, sendo assim a precisão de um mesmo ponto pode variar a medida que a potência do sinal sofre pelos ruídos. Para solucionar esse problema, Moura utilizou uma técnica que explora o fato da potência do sinal Wi-Fi sofrer atenuação e ser instável, e também utilizar um HMM descrito em um grafo onde os nós representam as localizações e as arestas, as probabilidades de transição em função da topologia do ambiente e das velocidades esperadas de um pedestre portando um dispositivo móvel (MOURA, 2007).

Esta pesquisa focou em estudar vários métodos comparativos de autores que já escreveram e realizaram testes acerca do problema descrito. Também destacou que é muito difícil fazer uma comparação definitiva de desempenho sem que os sistemas sejam executados no mesmo ambiente. Por isso, foram feitas implementações de algumas propostas que utilizam filtros Bayesianos e localização markoviana e uma série de testes preliminares foram executados com o dispositivo em movimento em um ambiente de testes (MOURA, 2007).

Nos resultados obtidos, Moura percebeu que a eliminação de ruídos pode ser útil e ter um desempenho melhor do que os sistemas tradicionais, em relação a ambientes que possuem muito ruído na rede.

O sistema descarta os sinais que possuem ruídos, tornando mais robusto. Porém em locais onde a rede é mais limpa, não será muita vantagem utilizá-lo pois o algoritmo proposto é mais demorado a tomar suas decisões, ou seja, em locais onde quase não possuem ruídos não é vantagem utilizar esse algoritmo. Porém vale salientar que a maioria dos sinais Wireless possuem perdas significativas, no qual são determinadas por fatores externos. Portanto, filtro para reduzir os ruídos se mostrou eficiente dentre essas condições.

4.4 UM ESTUDO SOBRE ABORDAGENS PARA LOCALIZAÇÃO INDOOR

Este Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará no qual propõe um estudo sobre abordagens para localização indoor, no qual visa através de dispositivos móveis conhecerem a posição exata ou aproximada de uma pessoa

ou objeto, utilizando dispositivos móveis e aproveitando o grande crescimento das aplicações sensíveis ao contexto (RODRIGUES, 2013).

Nesta pesquisa foram analisadas diferentes técnicas para a localização indoor existentes e selecionada aquela que se mostrou mais adequada para implementação. A técnica utilizada não é diferente dos outros trabalhos correlatos, onde na fase inicial foi construído um aplicativo com o objetivo de fazer coletas das potências do sinal Wi-Fi de todos os APs encontrados no ambiente interno da universidade e também da potência do campo magnético referentes aos eixos x, y e z em relação ao dispositivo utilizado, esse aplicativo possibilitou gerar um arquivo de referência para ser usado na próxima fase da implementação (RODRIGUES, 2013).

Realizaram-se várias medidas no ambiente utilizando o aplicativo instalado em um smartphone android com Wi-Fi e sensor de campo magnético integrado, para cada local foram feitas 60 medidas sendo 10 em cada canto, 10 no centro e mais 10 medidas aleatórias no local, montando assim um mapa de medidas do ambiente (RODRIGUES, 2013).

Utilizado o algoritmo de kNN por ser de fácil compreensão e ter obtido bons resultados em outros trabalhos, também será utilizado o K-Means para uma possível comparação de desempenho. O K-Means também conhecido como K-médias é considerado um algoritmo de mineração de dados não supervisionado, pois ele fornece uma classificação automática sem nenhuma pré-classificação existente (RODRIGUES, 2013).

O teste das abordagens foi realizado desta forma, ao entrar em um ambiente foi informado para a aplicação o local atual, depois ao clicar no botão na tela da aplicação esse local indicado inicialmente era comparado com o local estimado pelo algoritmo, se esses locais coincidiram, então foi adicionado em um arquivo a palavra “certo” e caso contrário a palavra “errou” (RODRIGUES, 2013).

Utilizando como base os dados da potência da rede Wi-Fi e os eixos X, Y e Z do campo magnético, o aplicativo para testes em android foi utilizado algumas variações dessa abordagem e com isso cumprido o objetivo principal desse trabalho. Contudo os resultados da análise realizada não saíram como o esperado, pois a abordagem que se saiu melhor atingiu 60% Utilizando Kmeans, e 14% utilizando kNN. Quando utilizado juntamente com o campo magnético caiu o percentual de acerto para 10%. O autor afirma que esses resultados poderiam ter uma taxa de

acertos maiores utilizando apenas os APs conhecidos e não todos que se encontravam próximos do dispositivo móvel (RODRIGUES, 2013).

4.5 BLUETOOTH LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS

Esta pesquisa foi realizada a fim de obter grau de mestre de Ciência da Computação pela Universidade De Geneva. O autor relata que vários sistemas de posicionamentos para ambientes internos foram desenvolvidos ao longo da última década, contando com uma ampla variedade de tecnologias, incluindo internet sem fios, infravermelho e ultrassom, entre outros. Similarmente, várias técnicas de posicionamento têm sido propostas, mais técnicas que estão sendo trilateração e fingerprinting são comumente usadas (BEKKELIEN, 2012).

Mesmo com esta vasta pesquisa ainda assim sistemas de posicionamento interno não estão maduros o suficiente para propor uma universal solução que funciona em qualquer ambiente, atualmente, a escolha da tecnologia e posicionamento técnicas depende dos requisitos do sistema, por exemplo, frequência de rádio, tecnologias baseadas tais como IEEE 802.11 são baratos para implantar, mas tem menor precisão do que muitos outros tipos de tecnologias, ao passo que um sistema baseado em *ultrassom*, tais como a system1 Bat Ativo, tem uma precisão muito elevada, mas é relativamente dispendioso (BEKKELIEN, 2012).

Uma revisão da literatura atual mostra que o posicionamento *bluetooth* em ambientes internos geralmente são utilizados para duas finalidades, ou seja, para o acompanhamento de pessoas ou objetos e para a prestação de informações de localização dependente, onde os autores apresentam um sistema de informação e publicidade para celular telefones com uma precisão de cerca de 10 metros. Possíveis cenários em que seu sistema poderia ser usado Máquinas de supermercados e visitas guiadas (BEKKELIEN, 2012).

A maioria das pesquisas disponíveis são focadas em trilateração utilizando o sinal RSSI para calcular distâncias embora recentes artigos explorassem uma abordagem baseada em células. A pesquisa também está sendo feito em *fingerprinting*, essa técnica utiliza de mapas de RSSI (BEKKELIEN, 2012).

Foram utilizados três algoritmos para avaliação de resultados: kNN, kNN regression e Naive Bayes. kNN é um classificador determinista que compara a sua

entrada contra todo o treinamento em tempo de execução, portanto pode ser computacionalmente intensivo. No entanto, é conhecido por obter bons resultados e simples de implementar. Uma desvantagem deste algoritmo é o fato de todos os k vizinhos terem a mesma votação, independente da sua distância à do valor de entrada. O algoritmo pode ser melhorado por ponderação os vizinhos por sua distância à entrada, e o inverso da distância é muitas vezes utilizado. Isto significa que quanto mais perto um exemplo é a entrada, mais o seu voto influencia o resultado. kNN também pode ser utilizado para a regressão, por ter que retornar o valor médio do k vizinhos (BEKKELIEN, 2012).

O classificador Naive bayes é denominado de ingênuo, pois toma o pressuposto de que os valores do vetor de entrada são todos independentes uns dos outros, isto torna mais fácil de calcular a probabilidade condicional, o qual torna simplesmente o produto da probabilidade de cada elemento em x dada classe C e Y .

Os melhores resultados obtidos foram de kNN e kNN regressão, dentre esse contexto, a exatidão foi obtida usando $k = 9$ (1,62 m) para k-NN e $k = 7$ (1,60 m) para k-NN regressão. O algoritmo de regressão obteve melhores resultados em todos os casos, em especial no caso de 95%. Isto pode ser facilmente explicado pelo fato de que ele calcula uma média dos pontos de k , por conseguinte, a posição pré-indicada não está limitada à medição real aponta como é o caso para kNN. Em geral, a melhor precisão seja obtida com $k = 7$ para regressão e $k = 9$ para k-NN (BEKKELIEN, 2012).

O sistema tem uma boa precisão, onde encontrou 50% de probabilidade de acertos com precisão de um metro e meio da posição atual, quando o dispositivo está parado. Nos testes realizados com o dispositivo em movimento, a precisão diminui e durante o andar rápido o sistema não dá resultados confiáveis. O autor concluiu que este sistema não é adequado quando é um requisito para que a posição exata estimada em movimento, mas tem uma boa precisão quando estimado a posição com o dispositivo parado (BEKKELIEN, 2012).

4.6 LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO TRILATERAÇÃO

Esta pesquisa foi realizada na Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) a fim de obter o grau de Bacharel em Ciência da Computação realizando uma análise comparativa entre os métodos de trilateração e *fingerprinting*.

Para obter a localização de estações em um ambiente sem fios, é necessária a existência de referências fixas e utilização de uma técnica para inferir a posição física da estação. As diversas técnicas existentes baseiam-se na obtenção da distância entre os pontos conhecidos e a estação móvel através da medida do tempo necessário para a transmissão de dados entre eles, da potência do sinal, ou ângulo existente entre esses pontos (BISATTO; PERES, 2014).

Em relação a obtenção das informações mencionadas acima, existem dois modelos para realizar a localização de uma estação móvel, obtém-se sua localização, através de dados da infraestrutura de rede onde os pontos de acesso possuem a localização conhecida e a network base a infraestrutura de rede obtém informações de distância e ponto de referência de cada estação para a localização. Com a distância definida, é possível realizar a trilateração de pontos e a definição da localização da estação móvel (BISATTO; PERES, 2014).

Os métodos tecnológicos existentes para determinar a posição de uma estação envolvem medir a diferença do tempo de chegada do sinal, potência do sinal, ou o ângulo de chegada do sinal. Na técnica de trilateração é necessário que existam no mínimo três pontos de referência para ter sua localização. Pode ser utilizado conceitos matemáticos da trilateração, no qual necessita de três pontos de referência, sendo criada através de três circunferências, tendo os pontos fixos e a posição dos pontos de acesso, através da aplicação da fórmula da circunferência pode-se encontrar a intersecção dos pontos, ou seja, ponto onde as três circunferências se cruzam, dessa forma apontando a localização do dispositivo no ambiente (BISATTO; PERES, 2014).

O sistema proposto foi implementado utilizando um sistema de localização de estação já operacional na ULBRA campus Guaíba. Este sistema utiliza atualmente a técnica *fingerprinting* e durante a escrita deste trabalho estava iniciando teste com esta técnica. Os testes foram realizados posicionando um notebook na sala de aula Labin 6, o ambiente foi mapeado em um plano cartesiano,

no qual foram realizadas 80 localizações onde, em cada localização coletou-se 50 amostras de potência para determinar a distância entre a estação móvel e os APs na área de abrangência da mesma. Estes valores serviram como entrada para localização da estação tanto pela técnica de *fingerprinting*, quanto pela técnica de trilateração, ou seja, foi possível com este método validar com os mesmos valores os erros em cada processo de localização (BISATTO; PERES, 2014).

Após os testes a trilateração apresentou como uma alternativa aos modelos de localização, esta técnica demonstra uma forma de localização baseando-se, na obtenção de informações de potência entre estações móveis, pontos de acesso fixo e com localização conhecida (BISATTO; PERES, 2014).

Foram aplicados os cálculos matemáticos da trilateração em código computacional, com isso após os testes observou-se um aumento na margem de erro registras pelo protótipo para 1 metro no resultado final. Entretanto este método torna-se mais ágil para implantação em vários ambientes pois o mesmo não necessita que seja coletado amostras das potências dos sinais no ambiente (BISATTO; PERES, 2014).

5 LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS

O trabalho consiste desenvolver um aplicativo que realize comunicação entre o dispositivo móvel e os *beacons* através do protocolo Eddystone, e implementar os algoritmos para obter a localização em um ambiente fechado utilizando as técnicas de *fingerprinting* e trilateração, com objetivo de compará-los. Para realizar os testes foi necessário desenvolver um protótipo para estimar a localização do dispositivo móvel em ambientes fechados através de um local previamente mapeado, utilizando a comunicação através da tecnologia *bluetooth*, a fim de obter resultados dos métodos de trilateração e *fingerprinting* combinado com kNN com objetivo de definir detalhes sobre precisão das estimativas de posição de cada algoritmo e confiabilidade dos sinais.

5.1 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO MOBILE

Para desenvolver o protótipo foi utilizada a linguagem Java, com ambiente de desenvolvimento Android Studio SDK 1.3.1, que permitiu que o aplicativo fosse utilizado na plataforma Android. Na figura 9 pode ser observada a tela principal do aplicativo

Figura 9 - Imagem da tela principal do aplicativo



Fonte: Do autor.

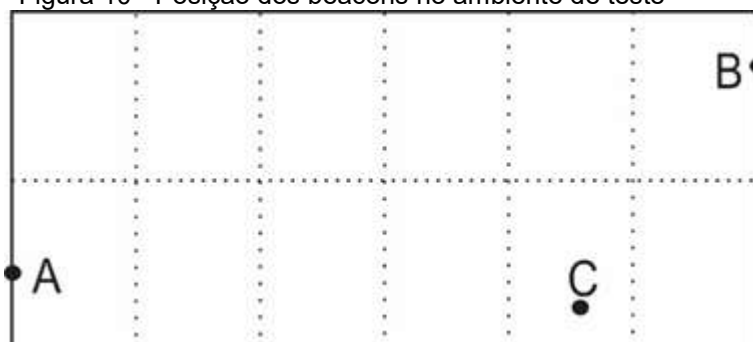
O *layout* do aplicativo foi implementado para realizar a busca dos *beacons* e mostrar na tela do dispositivo móvel as informações referentes aos *beacons* encontrados. Na figura 9 foi ilustrada a tela principal do aplicativo, que está apresentando o MAC do dispositivo, ao lado do MAC, entre parênteses está a distância estimada em metros entre o *beacon* e o smartphone, enquanto o X e o Y representam a posição estimada pelo algoritmo no ambiente. Após reconhecimento inicia os cálculos para gerar a localização e determinar a posição da latitude e longitude que são representados em um gráfico cartesiano simulando o ambiente de teste.

Nos testes utilizou-se um dispositivo móvel da marca Motorola, modelo Moto GIII, com sistema operacional Android versão 6.0. Todos os dados do sistema foram armazenados em arquivos de texto para posteriormente realizar coleta e análise das informações.

O aplicativo proposto para dispositivos móveis foi desenvolvido para ser utilizado em smartphone com sistema operacional Android que necessita de receptor de sinal *bluetooth* para utilizar o aplicativo.

Nos testes realizados foi necessário dispor de um ambiente interno previamente mapeado para definir a posição do dispositivo móvel. Os dispositivos *beacons* foram alocados no ambiente como pode ser observado na figura 10, a fim de emitir o sinal *bluetooth* para captura do sinal pelo smartphone.

Figura 10 - Posição dos beacons no ambiente de teste



Fonte: Do autor.

Os testes foram realizados em um ambiente retangular com dimensões de 6 metros de comprimento por 3 metros de largura. Os *beacons* foram instalados nas posições demonstradas na figura 10 pelas letras A, B e C e a partir desse momento ficaram conhecidas a latitude e longitude dos *beacons* para realizar os testes no

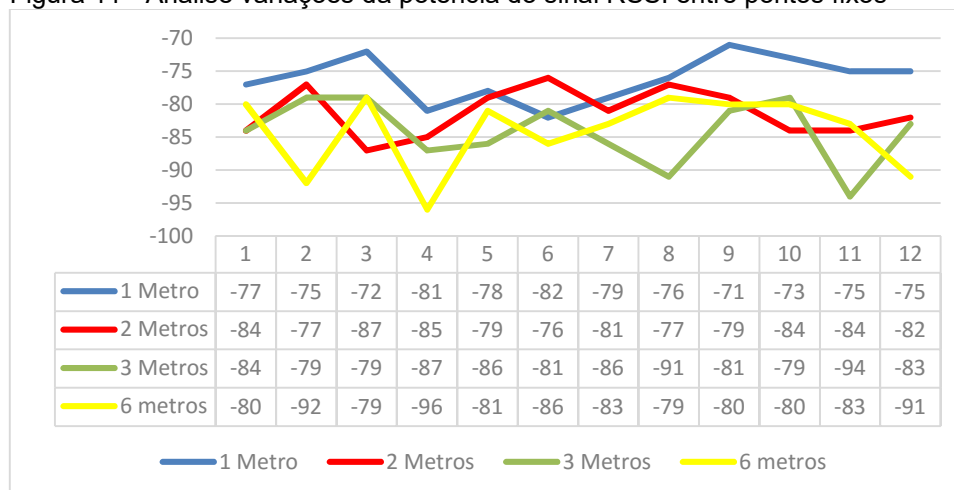
ambiente. Não foi considerada a altura do ambiente, pois os testes foram realizados com o dispositivo e os beacons na mesma altitude.

5.2 ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTE CONTROLADO

Nesta fase do projeto foi necessário utilizar da potência do sinal RSSI para realizar os cálculos para determinar a posição no ambiente. Logo no início do desenvolvimento, após conseguir realizar a comunicação do dispositivo móvel com o *beacon*, foi identificado que esse sinal de rádio frequência sofre oscilações devido as interferências externas do ambiente. Realizou-se coleta de dados do *beacon* utilizando pontos fixos nas distâncias de 1, 2, 3 e 6 metros por um minuto cada distância utilizando duas amostras coletadas em dias diferentes.

No primeiro teste foram coletadas 10 amostras, constatou-se que o sinal de *bluetooth* recebe muitas interferências e chegaram a oscilar em 13 pontos na distância de seis e três metros em ponto fixo. Enquanto para distância de dois metros oscilou onze pontos e para distância de um metro oscilou nove pontos, esses dados podem ser observados na figura 11.

Figura 11 - Análise variações da potência do sinal RSSI entre pontos fixos

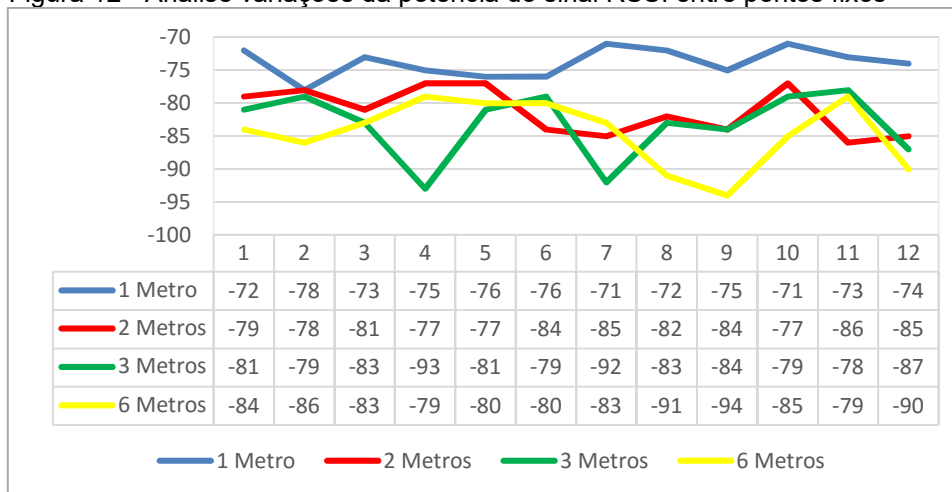


Fonte: Do autor.

Os mesmos testes realizados em outro dia utilizando a mesma metodologia do primeiro, sendo coletadas também dez amostras nos mesmos pontos do teste anterior com o *beacon* e o dispositivo móvel na mesma posição. A partir das amostras foi possível identificar uma variação maior que o realizado no

teste anterior e chegou a oscilar em 15 pontos para distância de 6 metros, 14 pontos para três metros, 9 pontos para 2 metros e na distância de 1 metro oscilou 7 pontos conforme pode ser observado na figura 12.

Figura 12 - Análise variações da potência do sinal RSSI entre pontos fixos



Fonte: Do autor.

A partir dessas informações foi possível verificar que os fatores externos influenciam na potência do sinal e para desenvolver um aplicativo de geolocalização deve-se levar em conta esse fator como um dos principais problemas para definir a posição exata ou com a menor taxa de erro possível.

Após realizar o registro da potência do sinal RSSI de cada *beacon*, foi necessário desenvolver um algoritmo que realizasse o cálculo da distância entre o dispositivo móvel e o *beacon* para que pudesse ser implementado utilizando a técnica de trilateração.

5.2.1 Fórmula para obter a distância

Após análises de distância obtidas através de testes com diferentes *beacons*, foi determinada a melhor fórmula para utilizar com a trilateração e determinar a distância entre o dispositivo móvel e o *beacon* que emite o sinal. Na fórmula 1 demonstrada foi a que melhor apresentou resultados levando em consideração a distância entre 1 e 6 metros.

$$y = 0,89976 * \left(\left(\frac{\text{RSSI}}{\text{taxaRssi}} \right)^{6,8} \right) \quad (1)$$

Na fórmula 1 para ser utilizada deve-se alterar as variáveis RSSI e a taxa que é a potência do sinal definida na distância de 1 metro. A variável RSSI é obtido através da comunicação direta entre o dispositivo móvel e o *beacon*, utilizando a comunicação pelo protocolo *Eddystone* consegue-se obter a potência do sinal RSSI.

A variável taxa de potência é obtida na fase de calibração onde é alocado o dispositivo móvel a uma distância de um metro do *beacon*, esse valor obtido, é definida a taxa de potência para esse beacon. Esse valor após obtido, torna-se o padrão para obter o cálculo da distância do determinado *beacon*, essa calibração pode ser realizada apenas uma vez para determinado modelo de *beacon*, pois o mesmo após ser definido pode ser utilizado por outros da mesma marca e modelo.

Após análises das oscilações da potência do sinal, percebe-se a inviabilidade de apenas captar a potência do sinal do *beacon* e obter uma distância precisa e confiável sem realizar algum tipo de filtro para estabilizar a potência recebida devido a variação sofrida pelas interferências de fatores externos.

Conforme constatados nos testes realizados anteriormente, percebeu-se a necessidade de estabilizar o sinal para diminuir a margem de erro. Portanto foi necessário através das coletas dos sinais utilizar alguma técnica para diminuir os picos de potência registrados. Foi escolhido o filtro de Kalman para essa função, este filtro necessitar registrar em uma lista o histórico da potência do sinal em um determinado tempo para aplicar e verificar a viabilidade de uso desse algoritmo para estabilizar o sinal *bluetooth* utilizado nesse trabalho.

5.3 FILTRO DE KALMAN

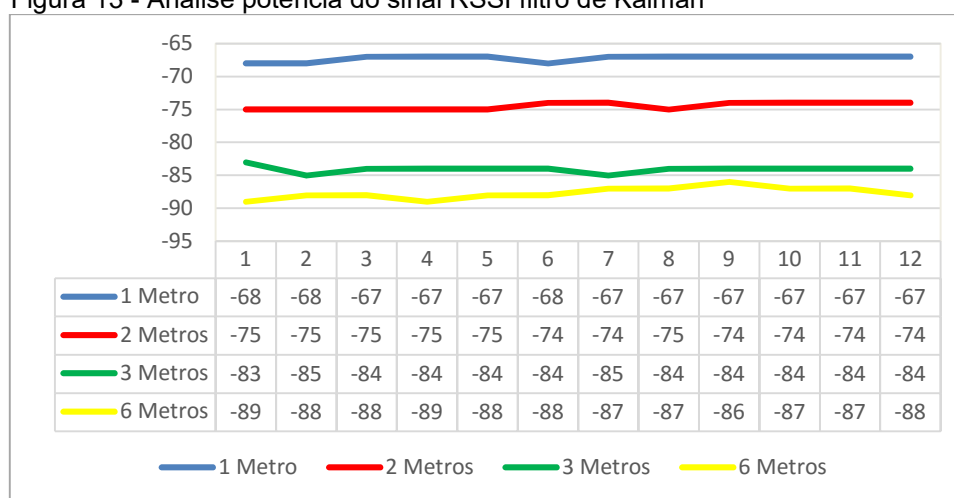
O filtro de Kalman foi utilizado com objetivo de estabilizar o sinal, reduzindo os picos constatados nas amostras registradas anteriormente, pois apenas obtendo a potência mesmo que muito próximo do aparelho, não seria adequado, pois não chegaria a distâncias aproximadas confiáveis devido as oscilações citadas anteriormente.

O filtro de Kalman, também conhecido como estimativa linear quadrática, é um algoritmo que utiliza uma série de medições registradas há certo tempo, para

tratar esses valores que contém ruídos estatísticos e outras imprecisões. A partir dessas medições foram produzidas estimativas de variáveis desconhecidas que tendem a ser mais precisas do que os baseados em uma única medição sozinha. Os melhores resultados encontrados levando em consideração o tempo de coleta dos dados da potência RSSI e um tempo pequeno intervalo de tempo para não interferir quando o usuário estivesse em movimento, ou seja, da forma definida quando o usuário estiver em movimento não irá influenciar na estimativa quando caminhando a passos normais.

Após desenvolvido o filtro de Kalman foi realizado novos testes, observando as potências de sinais RSSI para verificar a estabilidade do sinal. Para realizar os testes foram coletadas 10 amostras do *beacon* utilizando a mesma metodologia do teste de variação da potência RSSI sem o filtro. Notou-se melhor desempenho e resultado mais satisfatório com uso do filtro de Kalman, o resultado teste pode ser observado na figura 13.

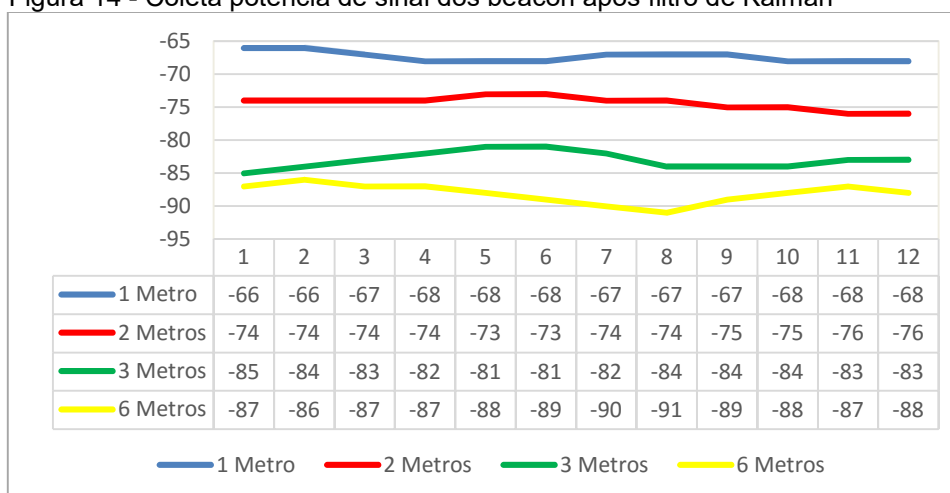
Figura 13 - Análise potência do sinal RSSI filtro de Kalman



Fonte: Do autor.

Novo teste foi realizado coletando as potências de sinal RSSI no dia seguinte utilizando a mesma metodologia. Também se obteve resultados mais estáveis com o filtro como pode ser observado na figura 14.

Figura 14 - Coleta potência de sinal dos beacon após filtro de Kalman



Fonte: Do autor.

A partir dessas amostras concluiu-se que para ser possível realizar os métodos matemáticos para cálculo da trilateração, foi necessário utilizar esse filtro, que se mostrou eficiente para o problema de oscilação na potência do sinal. Conforme foi constatado, continha muitos picos nos registros das potências registradas e a partir desse momento foi possível diminuir essas oscilações o que proporcionou a viabilidade do uso com a técnica de trilateração.

5.4 IMPLEMENTAÇÃO DA TRILATERAÇÃO

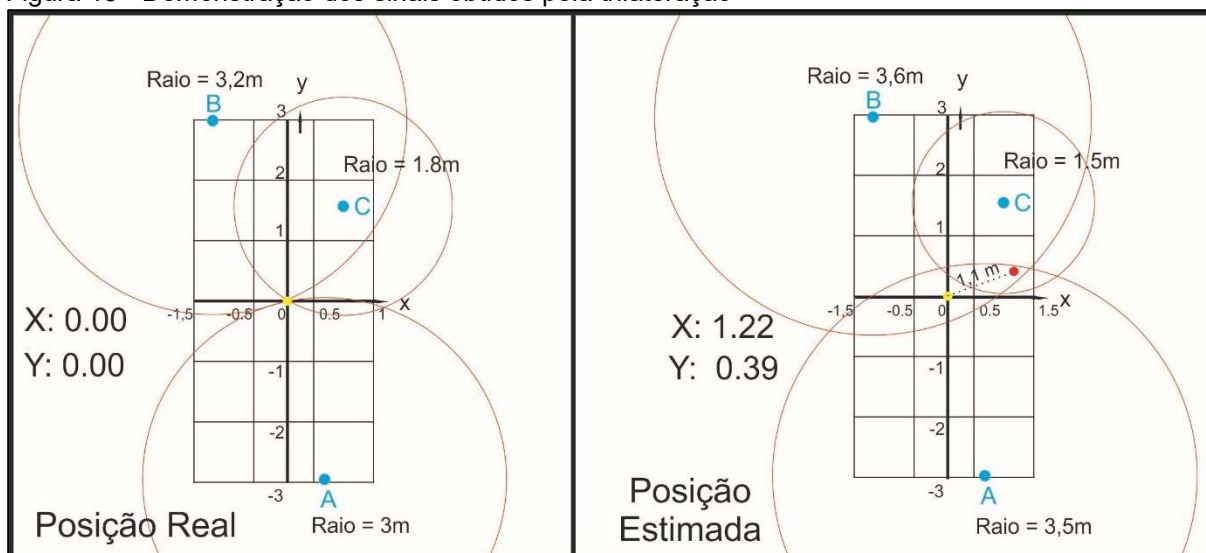
A trilateração tem como objetivo principal obter a distância de um ponto fixo em relação a outros três pontos conhecidos, que nesse caso os pontos conhecidos são os *beacons*. Esta técnica consiste em conhecer a latitude e longitude dos *beacons* no ambiente simulando um plano cartesiano. Portanto, foi necessário posicioná-los no ambiente de tal forma que fosse possível obter o raio dos três *beacons*, para assim registrar os pontos da latitude e longitude que o dispositivo está no ambiente.

Após alocá-los no ambiente foi necessário obter a potência do sinal RSSI do *beacon* e transformar em distância, sendo que nos testes não foi levado em consideração os obstáculos móveis, que podem ser pessoas, carros ou qualquer outro objeto que se movimenta no ambiente.

Os sinais de rádio frequência sofrem interferências e podem oscilar muito, sendo esse um dos principais problemas encontrados para o desenvolvimento do

protótipo e também para utilizar no algoritmo de trilateração utilizando o sinal bluetooth emitido pelos *beacons*. Os problemas da trilateração ocorreram quando um ou mais sinais estavam com distância errônea, nesse caso, o cálculo da trilateração poderá então estimar a posição errada no ambiente.

Figura 15 - Demonstração dos sinais obtidos pela trilateração



Fonte: Do autor.

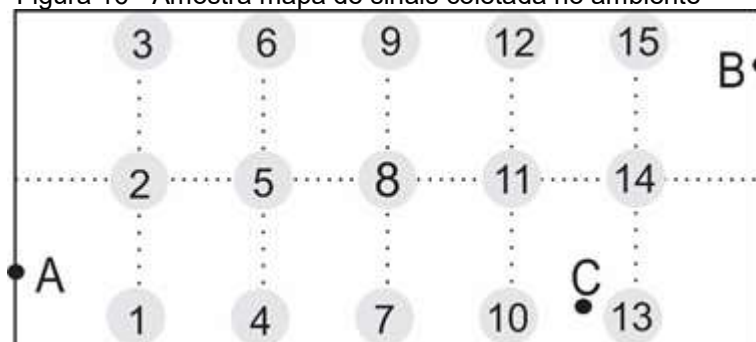
Na figura 15 está demonstrando uma ilustração de como a trilateração funciona na teoria e pratica. No quadro do lado esquerdo está sendo demonstrado na teoria, ou seja, a posição real que se encontra o dispositivo no ambiente. No lado direito a posição estimada representa a posição de teste levando em conta os cálculos efetuados pelo protótipo. O smartphone está sendo representado pelo círculo amarelo na ilustração, enquanto os pontos A, B e C são os *beacons* posicionados no ambiente de teste. Na posição estimada foi aplicada uma coleta de dados, posicionando o smartphone no ponto $x=0,00$ e $y=0,00$. A partir do posicionamento foi estimada uma distância entre o ponto amarelo que é a posição real do dispositivo no ambiente e o ponto vermelho que está representando o local que foi estimado pelo algoritmo de trilateração a partir dos cálculos de distância. Na posição estimada pode ser observado que os raios dos três círculos não fazem a junção em um ponto específico como demonstrado na posição real. Esse é um dos principais problemas da trilateração que após essas circunferências não se cruzarem perfeitamente, é atribuído o local de onde os três raios deveriam se cruzar. Na figura 15 foi demonstrada uma margem de erro representado está aproximadamente de 1

metro conforme ilustrado no segundo quadro a distância entre o ponto amarelo e o ponto vermelho.

5.4.1 Resultados Trilateração

Os testes foram realizados coletando vinte amostras em três pontos fixos no ambiente. Para realizar as coletas dos sinais foi utilizado um ambiente disposto de 3 *beacons*, cada *beacon* foi instalado em um local diferente dos outros. Após aloca-los, passou-se a conhecer suas posições. Como pode ser observado na figura 16 os *beacons* estão sendo representados pelas letras A, B e C e os círculos numerados de um a quinze estão ilustrando os *beacons* no ambiente.

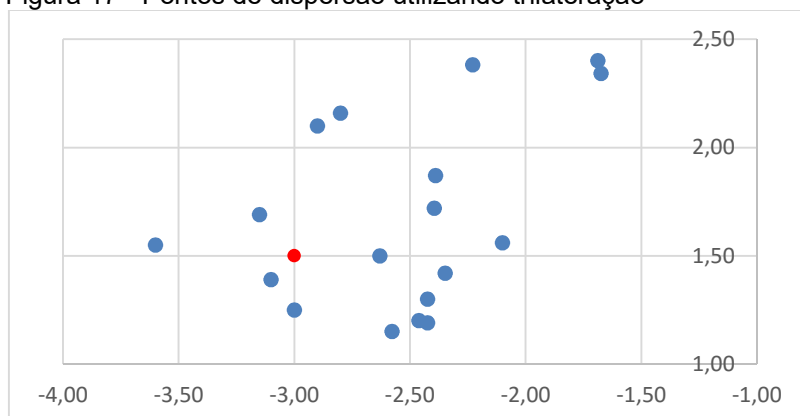
Figura 16 - Amostra mapa de sinais coletada no ambiente



Fonte: Do autor.

O primeiro ponto da amostra foi o ponto 1, como pode ser observado na figura 17, está demonstrado em um gráfico de dispersão o resultado do algoritmo. O ponto vermelho está representando a posição real do ambiente e os pontos azuis foram as posições estimadas pelo algoritmo.

Figura 17 - Pontos de dispersão utilizando trilateração

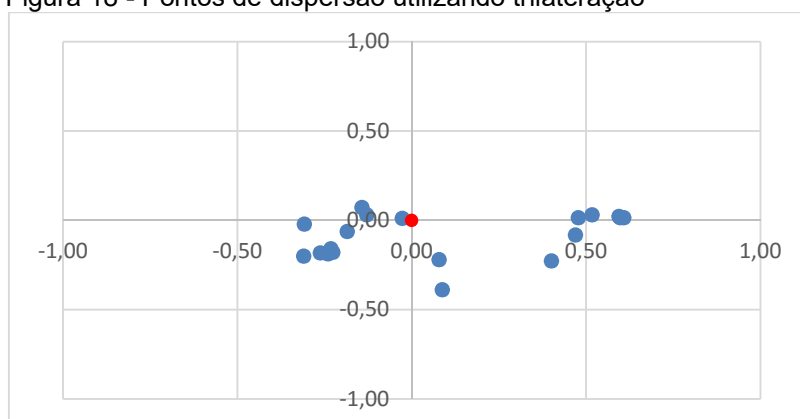


Fonte: Do autor.

Os dados estão sendo demonstrados em metros, obtiveram-se poucos pontos próximos da posição real onde estava localizado o dispositivo no ambiente, esses pontos chegaram a variar dois metros do ponto central, como pode se observar os pontos de dispersão foi muito instável a estimativas nesse ponto.

O segundo teste foi realizado no ponto 8 que é o ponto central do ambiente. As amostras recolhidas no ponto 8 obteve-se uma margem de erro 0,6 metros e grande dispersão próximo ao ponto central como pode ser observado na figura 18, nesse teste realizado no ponto 8, que é o ponto central do ambiente, obteve melhores resultados que no ponto 1 realizado anteriormente.

Figura 18 - Pontos de dispersão utilizando trilateração

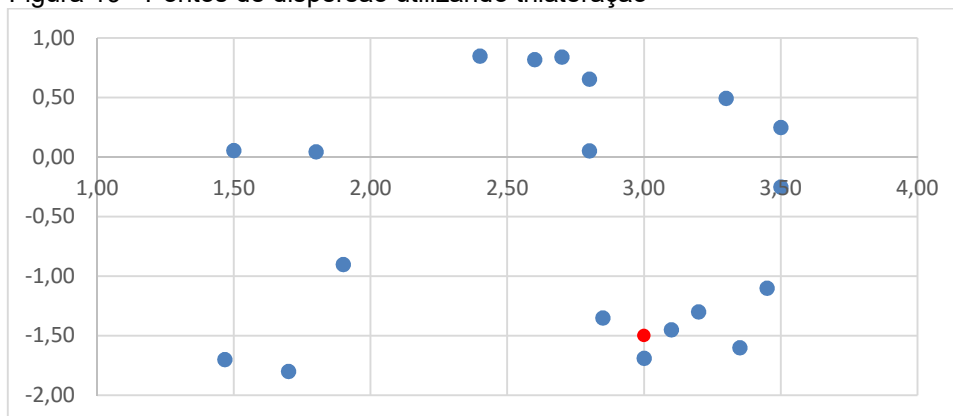


Fonte: Do autor.

No terceiro teste foi escolhido o ponto 15 para demonstrar em fase real os pontos de estimativas de localização determinada pelo algoritmo. Entre os três pontos aferidos, este foi o pior caso no ambiente, chegou-se a margem de erros de

2.85 metros, e uma maior dispersão em relação ao ponto central atribuído no teste como pode ser observado na figura 19.

Figura 19 - Pontos de dispersão utilizando trilateração



Fonte: Do autor.

Após os testes realizados com o algoritmo de trilateração, notou-se uma maior precisão na parte central do ambiente, pois nessa parte é o local onde fica o ponto central entres os três *beacons*, sendo que quanto mais próximo o dispositivo móvel estiver dos *beacons* maior confiabilidade do sinal e menor variação do mesmo.

Após análise dos pontos de dispersão do algoritmo de trilateração, foi possível identificar que somente a trilateração não seria possível determinar a quantidade de acertos e erros propostos nos objetivos do trabalho. Portanto, foram realizados novos testes utilizando a trilateração e a distância Euclidiana para localizar o ponto estimado pelo algoritmo mais próximo dos pontos mapeados no ambiente, os pontos foram mapeados de 1 a 15 conforme demonstrado na figura 16.

Após implementação da trilateração realizando a comparação com os pontos mais próximos determinados no ambiente, foi possível estimar a quantidade de acertos e erros nas distâncias em metros. Conforme está sendo demonstrado na figura 20, foi utilizado os pontos 1, 8 e 15 para realizar as coletas e demonstrar as quantidades de acertos.

Figura 20 - Quantidade de acertos primeiro teste algoritmo de trilateração

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	12	15	15	9	15	14	15	12	11	9
Acerto(%)	40%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	5	8	8	11	8	9	8	8	12	12
Acerto(%)	50%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	1	3	5	6	5	2	1	1	1	2
Acerto(%)	40%									

Fonte: Do autor.

No segundo teste realizado em outro dia utilizando a mesma metodologia do teste anterior, com o *beacons* e o dispositivo móvel exatamente no mesmo local. Os resultados obtidos podem ser observados na figura 21.

Figura 21 - Quantidade de acertos segundo teste algoritmo de trilateração

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	14	9	14	15	15	8	8	15	15	15
Acerto(%)	50%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	8	5	8	8	8	11	9	8	8	7
Acerto(%)	60%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	2	1	1	3	2	2	4	1	1	4
Acerto(%)	40%									

Fonte: Do autor.

O algoritmo de trilateração não se mostrou muito eficiente em questão de precisão, teve uma margem de acerto média nos pontos verificados de 50% e margem de erros em metros máxima de 3 metros. Conforme demonstrado nos gráficos, devido a trilateração utilizar da distância de cada *beacon* para estimar a localização, sendo que se apenas um *beacon* oscilar, as estimativas podem se apresentar muito distante do ponto real.

5.5 FINGERPRINTING

O método de localização baseado em *fingerprinting* consiste em obter na fase *off-line* ou fase de treinamento o mapa de sinais. O mapa é criado após determinar um ambiente para mapear, que consiste em coletar a potência do sinal dos *beacons* em determinados pontos do ambiente. Após essa coleta é realizado os testes na fase *on-line*, que é escolhido um ponto no ambiente previamente mapeado, e através do algoritmo implementado realiza a análise dos dados comparando-os com os dados obtidos da fase *off-line*.

Para realizar as coletas dos sinais foi modelado um mapa de sinais baseado em um ambiente disposto de três *beacons*, cada *beacon* foi instalado em um local diferente dos outros. Após colocá-los no ambiente, passou-se a conhecer suas posições. Foi utilizado as mesmas posições dos *beacons* nos testes realizados na trilateração como pode ser observado na figura 22.

Figura 22 - Amostra mapa de sinais coletada no ambiente



Fonte: Do autor.

Devido as variações do sinal notou-se não ser possível realizar apenas coletas de uma amostra por ponto no ambiente para alimentar o mapa de sinais pois as posições estimadas não seriam confiáveis e teriam baixas quantidades de acertos. No teste inicial foi coletado 20 amostras para cada ponto no ambiente, a partir dessas amostras foi utilizado o algoritmo de kNN que para realizar a identificação das posições no ambiente através de comparação das amostras dos sinais com a posição real.

5.5.1 Implementação do algoritmo kNN

Para realizar o tratamento do mapa de sinais e identificar o dispositivo móvel no ambiente, foi utilizado o algoritmo de kNN. O algoritmo utiliza de classes previamente mapeadas, portanto cada ponto no ambiente foi determinado como uma classe que é alimentada pela potência do sinal de três *beacons* e distinguido através desses sinais.

O mapa de sinais foi preenchido conforme pode se observar na tabela 2, onde as variáveis A, B e C estão representando a potência do sinal de cada *beacon*, e a classe é o ponto no ambiente. Portanto, a partir de três amostras de potência do sinal é atribuído para uma classe, que essa classe representa um local no ambiente.

Tabela 2 - Exemplo de amostras de sinal

CLASSE kNN			
A	B	C	CLASSE
-70	-76	-78	1
-70	-76	-77	1
-70	-76	-78	1
-66	-77	-78	1
-67	-77	-77	1
-66	-77	-77	1
-67	-77	-78	1
-66	-77	-78	1

Fonte: Do autor.

Na fase *on-line* após iniciar o aplicativo inicia-se a busca pelos *beacons*, e realiza-se a coleta de sinais de cada *beacon* que compara com o mapa de sinais coletados na fase *off-line*, percorre o vetor e encontra os cinco vizinhos mais próximos. Conforme determinado no algoritmo foi utilizado para encontrar os cinco vizinhos mais próximos que no caso desse teste, dos sinais coletados foi o que obteve maior quantidade de acertos. Para realizar a comparação do vizinho mais próximo foi utilizada a distância euclidiana que realiza a comparação de distância entre dois pontos, nesse caso a distância a ser calculada é a distância das potências de sinais coletadas na fase *off-line* com as obtidas na fase *on-line*.

5.5.2 Teste de validação da técnica de fingerprinting

Foi coletada a quantia de vinte amostras em cada ponto do ambiente e foi inserido na base de dados para realizar testes a partir de vários pontos no ambiente, conforme pode ser visto na figura 23 a quantidade de acertos.

Figura 23 - Acertos na fase on-line comparando com vinte amostras coletadas

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	15	12	15	15	15	12	12	12	12	15
Acerto(%)	50%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	7	7	8	8	2	2	2	2	8	8
Acerto(%)	40%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	4	1	1	1	4	4	4	1	4	4
Acerto(%)	50%									

Fonte: Do autor.

Conforme ilustrado na figura 23 foram utilizados três pontos distintos para coleta do teste baseado em uma amostragem com vinte amostras para cada ponto do ambiente. Os pontos utilizados para teste foram os pontos 1, 8 e 15, no qual obteve em ponto fixo amostra dos três. Obteve-se 47% de acerto através de uma média dos pontos verificados. Nesse caso fica explícito que mesmo após ter utilizado vinte amostras no mapa de sinais, ainda ficou uma amostragem pequena, pois o resultado teve uma baixa quantidade de acertos.

Para conseguir um melhor resultado foi necessário utilizar uma amostragem maior para cada ponto. Nessa nova coleta na fase *off-line* foi definido cem amostras para cada ponto no ambiente para alimentar o mapa de sinais e realizar os testes novamente nos mesmos pontos coletados anteriormente para verificar se ocorre uma melhor porcentagem de acerto.

Figura 24 - Demonstração acertos com cem amostras na base dados

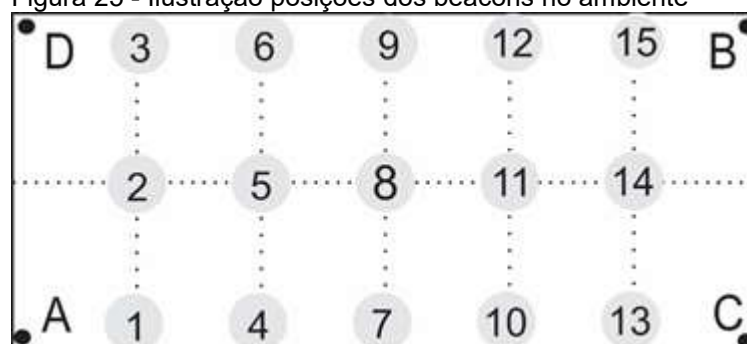
Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	15	12	15	15	15	15	15	15	12	12
Acerto(%)	70%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	5	5	5	5	8	8	8	5	8	8
Acerto(%)	60%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Acerto(%)	60%									

Fonte: Do autor.

Após aumentar a quantidade de amostras em cada ponto do ambiente foi possível verificar um aumento de acertos. Baseado em uma média simples das três amostras encontrou-se uma porcentagem de acerto de 63,33% nas amostras feitas em tempo real com margem de erro máxima de um metro e meio como pode ser observado na figura 24. A amostra dos pontos 15 e 8 tiveram margem de erros de um metro em relação ao ponto real com porcentagem de acerto de 70% das vezes. Enquanto o ponto 1 foi o pior caso, atingiu margens de erros de um metro e meio e 60% de acerto dos testes aferidos em tempo real.

Os testes foram refeitos, utilizando 100 amostras de 4 *beacons* para verificar se com uma quantidade maior de *beacons* consegue-se obter uma quantidade maior de acertos. Os *beacons* foram realocados no ambiente em locais diferentes conforme está sendo ilustrado na figura 25.

Figura 25 - Ilustração posições dos beacons no ambiente



Fonte: Do autor.

Após realocados os *beacons* em quatro pontos distintos do ambiente, foi realizado a coleta novamente de cem amostras de sinais dos quatro *beacons* em todos os pontos do ambiente. Após ter o mapa de sinais alimentado com as novas amostras, realizou-se os testes na fase *on-line*.

Os resultados utilizando 4 *beacons* obteve melhor resultado no algoritmo se comparado com o teste anterior que foi utilizado apenas 3 *beacons*, conforme demonstrado na figura 26.

Figura 26 – Primeiro teste, acertos utilizando 4 beacons e cem amostras na fase off-line

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	15	15	15	15	15	15	12	12	12	15
Acerto(%)	70%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	8	8	8	11	11	8	8	8	8	11
Acerto(%)	70%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1
Acerto(%)	80%									

Fonte: Do autor.

As amostras foram coletadas utilizando os pontos 1, 8 e 15, os mesmos pontos demonstrados anteriormente no teste com três *beacons*. Considerando uma média simples entre os acertos dos pontos escolhidos na fase *on-line*, obteve-se o percentual de acerto médio entres os pontos verificados de 73,33%, conforme pode ser observado na figura 26. Verificou-se um melhor desempenho do algoritmo utilizando maior número de *beacons*, a margem de erros máxima foi de um metro e meio no ponto 1, onde o algoritmo estimou erroneamente o ponto 2. Nos pontos 15 e 8 o erro máximo foi de um metro.

Devido as interferências do ambiente citadas neste trabalho foram realizados novos testes em outro dia utilizando a mesma metodologia do teste anterior. Notou-se uma variação no sinal, onde a média de acertos dos três pontos foi de 70%, porém a margem de erro em metros continua sendo de no máximo 1,5 metros.

Figura 27 - Segundo teste, acertos utilizando 4 beacons e cem amostras na fase off-line

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	14	15	15	14	12	12	15	15	15	15
Acerto(%)	60%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	8	9	8	8	8	8	8	11	8	8
Acerto(%)	80%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	1	1	1	1	4	1	1	1	2	2
Acerto(%)	70%									

Fonte: Do autor.

Na figura 27 está demonstrando os pontos coletados e os pontos que o algoritmo estimou, o ponto 15 teve o pior caso nesse teste com uma margem de acerto de 60% nesse segundo teste. Portanto, podemos considerar após várias análises um percentual de acerto médio dos pontos em 70%, considerando como margem de erro máxima de 60% e acerto máximo 80%. Pode-se considerar que a técnica de *fingerprinting* combinada com kNN foi melhor nos resultados pois obteve um erro máximo de 1,5 metros nas baterias de testes realizadas durante a implementação deste trabalho.

5.6 RESULTADOS OBTIDOS

O levantamento de requisitos teve como objetivo principal a comparação na quantidade de acertos e da distância encontrada entre os métodos de *fingerprinting* e trilateração.

O presente estudo permitiu a concepção de análises e apresentações dos resultados baseado nas técnicas propostas, com abrangência em várias áreas como a de Inteligência Artificial, Matemática, desenvolvimento para dispositivos móveis e sinais *bluetooth*.

Após análise dos métodos apresentou-se uma comparação onde foi possível identificar que os melhores resultados são obtidos pela técnica de *fingerprinting*, enquanto que a técnica de trilateração não se mostrou muito eficiente para esse fim.

Os resultados atingiram os objetivos propostos de desenvolver aplicação afim de comparar as duas técnicas aplicadas em um aplicativo de geolocalização. O

aplicativo desenvolvido atendeu as necessidades da pesquisa que consistiu em coletar os dados, apresentar na tela a posição da latitude e longitude do dispositivo no ambiente e gravar as informações em um arquivo texto com os dados gerados, para após realizar as comparações definidas e apresentadas neste trabalho.

6 CONCLUSÃO

Durante o estudo realizado foi observado que as imprecisões constatadas nos testes de localização ocorreram quando o sinal de rádio frequência registrava picos de sinal, que foram ocasionados devido a fatores externos não identificados. Para amenizar essas oscilações foi utilizado o filtro de Kalman, que se mostrou eficiente para essa função. A partir desse filtro aplicado foi possível a utilização do algoritmo de trilateração e *fingerprinting* com maior eficiência.

A técnica de *fingerprinting* combinado com kNN respondeu de forma satisfatória com relação ao modelo de armazenamento desenvolvido. Nos testes realizados foi encontrada quantidade de acerto de 70% e margem de erro de máximo de 1,5 metros. Nesse método verificou-se um melhor desempenho na quantidade de acertos e maior precisão na localização. A principal desvantagem se dá pelo fato de ser necessário mapear completamente um ambiente coletando amostras do sinal em cada ponto, o que pode ser tornar muito trabalhoso em grandes ambientes coletar essas amostras.

Nos testes realizados utilizando a trilateração pode ser observada uma quantidade de acerto de 50% das vezes estimadas com margem de erro máxima de 3 metros. Este algoritmo se mostrou eficiente quanto a facilidade de mapear o ambiente, bastando apenas colocar em um ponto fixo e determinar suas posições de latitude e longitude. A principal desvantagem do algoritmo é o aumento do erro de até 1,5 metros se comparado com a técnica de *fingerprinting*.

Portanto, após análise pode-se concluir que a técnica de *fingerprinting* se mostrou mais eficiente que a técnica de trilateração utilizando sinal *bluetooth*, levando em consideração quantidade de acertos nos pontos mapeados no ambiente e melhor precisão. Enquanto a técnica de trilateração superou na agilidade de mapear um ambiente para utilização do mesmo.

Na pesquisa envolveu uma ampla quantidade de técnicas que ainda necessita ser pesquisada e analisada. Portanto, para trabalhos futuros tem-se a possibilidade de realizar a análise do sinal *bluetooth* para obter mais detalhes, aplicando testes em vários dias diferentes, ambientes diferentes, utilizando smartphones de diferentes marcas e modelos para que possa levar em consideração vários outros fatores que possam afetar os sinais. Também o aperfeiçoamento do

layout, desenvolvendo um mapa do ambiente para ser possível o usuário se orientar utilizando o protótipo para realizar os testes com o dispositivo em movimento criando rotas dentro do ambiente mapeado utilizando técnicas da Teoria dos Grafos, como a de Dijkstra que é utilizado para definir o melhor caminho.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T.E.P. **Sistema de sensoriamento de orientação para um veículo aquático de superfície utilizando sensores de baixo custo**. Escola de engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, p. 36. 2014.
- BEKKELIEN, Anja. **bluetooth Indoor Positioning**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computer Science, University Of Geneva, Carouge, 2012.
- BERGAMASCO, Leila. **Recuperação de imagens por conteúdo utilizando Lógica Fuzzy: Um estudo de caso sobre imagens faciais**. 2010. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- BEZERRA, Miguel Eugênio Ramalho. **Métodos baseados na regra do vizinho mais próximo para reconhecimento de imagens**. 2006, Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2006.
- BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias**. 3ª ed. rev. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2006.
- BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo. **Grafos: teoria, modelos, algoritmos**. 3.ed. rev. E ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 314 p.
- DILÃO, Rui. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. 2010. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/cartografia/gps-sistema-de-posicionamento-global/>>. Acesso em: 01 set. 2014.
- ESTIMOTE. Disponível em: <<http://developer.estimote.com/>>. Acesso em: 02 de maio. 2016.
- FAGUNDES, L. P. **Técnicas de Localização de Dispositivos Móveis em Redes Wi-Fi – TDOA**. 2008, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- FIEIRA, L. R. **Ferramenta para localização em ambiente controlado utilizando mapa de sinais wireless**. 2013, Universidade Do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.
- GOOGLE. Disponível em: <<https://developers.google.com/beacons/>>. Acesso em: 16 de maio. 2016.
- FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- KUROSE, James F. e ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a Internet: Uma abordagem top-down**. 3ª edição. São Paulo. Pearson Education do Brasil. 2006.
- LUGER, G. F. **Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos**. 4. ed. Porto. Alegre: Bookman. 2004.
- Marin, E. S. **Fluzz: Redes sociais: geração, visualização e buscas que maximizam a probabilidade de influência entre indivíduos**. 2013, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

MARAFÃO, F. et al. **Metodologia de projeto e análise de algoritmos de sincronismo PLL**. Revista Brasileira de Eletrônica de Potência, Special Section: Applied Control in Power Electronics, v. 10, n. 1, p. 7–14, 2005.

MEDEIROS, Júlio César de Oliveira. **Princípios de Telecomunicações: teoria e prática**. 2º ed. São Paulo: Érica, 2007.

MOURA, A. L. **WBLS: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.

REAL, C. V. **Sistema de localização baseado em redes Wi-Fi**. 2012, Universidade do Sul De Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

RODRIGUES, F. C. **Um estudo sobre abordagens para localização indoor**. 2013, Universidade Federal Do Ceará, Quixadá. 2013.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora LTDA, 2004.

SAKAI, Ivan Daun. **GERÊNCIA, MONITORAMENTO E PROVISIONAMENTO DE CPE TR-069**. 2012. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília, 2012.

SAMBUGARI JUNIOR, Sérgio Luiz. **Aplicação de filtro de kalman para filtragem de sinais da rede elétrica**. 2016. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

SANSHERS, Carlos Alberto **Projetando redes Wlan: Conceitos e práticas**. 1ºEd, São Paulo: Érica, 2005.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 5.ed Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1997. 923 p.

APÊNDICE(S)

APÊNDICE A – Artigo científico

Análise comparativa entre os métodos de fingerprinting e trilateração de sinal bluetooth aplicada na construção de um aplicativo de geolocalização

Túlio Cardoso Tramontin¹, Gustavo Bisognin²

¹Acadêmico do Curso de Ciência da Computação - Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias (UnaCET) - Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) - Criciúma - SC – Brasil

²Professor do Curso de Ciência da Computação – Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias (UnaCET) - Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) - Criciúma - SC - Brasil

tuliotramontin@gmail.com, gustavo@unesc.net

Abstract. Nowadays with the popularization of the mobile devices it's noted the necessity of geolocalization application development taking advantage of these technological means to lead people into locomotion in closed spaces. The current academic paper contributes to the evolution of techniques through presentation of obtained results by comparison of algorithms of trilateration and fingerprinting applied into the building of a geolocalization application using beacon-emitted Bluetooth. The beacons are small devices which can perform the communication with the mobile device through the Eddystone protocol. The position is estimated in the environment by trilateration techniques and improved fingerprinting using kNN, Euclidean distance and Kalman filter. The academic paper presents the results taking in consideration the hit percentage of mapped points and the maximum error margin by meters for every proposed method.

Resumo. Atualmente com a popularização dos dispositivos móveis percebe-se a necessidade de desenvolver aplicativos de geolocalização aproveitando desses meios tecnológicos para orientar pessoas na locomoção em ambientes fechados. O presente trabalho contribui para evolução das técnicas através das apresentações dos resultados obtidos da comparação dos algoritmos de trilateração e fingerprinting aplicado na construção de um aplicativo de geolocalização utilizando sinal bluetooth emitido pelos beacons. Os beacons são pequenos dispositivos que podem ser instalados facilmente no ambiente a fim de transmitir sinal bluetooth para realizar a comunicação com o dispositivo móvel através do protocolo Eddystone. A posição é estimada no ambiente através das técnicas de trilateração e fingerprinting aprimoradas utilizando kNN, distância Euclidiana e filtro de Kalman. O trabalho apresenta os resultados levando em consideração a porcentagem de acertos dos pontos mapeados e margem de erros máximos em metros para cada método proposto.

1. Introdução

Atualmente com a popularização dos dispositivos móveis percebe-se a necessidade de aplicativos de geolocalização para ambientes fechados utilizando meios tecnológicos para orientar na locomoção de pessoas em ambientes públicos. Visando o aumento significativo

nas vendas de dispositivos móveis no Brasil, nesse projeto utilizou-se o sinal bluetooth, pois é largamente disposto dessa tecnologia nos dispositivos móveis.

Presentes em casa, no trabalho, nas instituições educacionais, aeroportos, as redes sem fios são uma das mais importantes tecnologias de rede para acesso à internet, entre as tecnologias de redes sem fio, será utilizado o bluetooth baseado nos padrões Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.15.1 que opera sobre uma faixa, a baixa potência, e a um custo baixo para interconectar tablets, aparelhos periféricos, telefones celulares, notebooks, entre outros (RODRIGUES, 2013).

Uma solução para ambientes externos é o Global Positioning System (GPS) que utiliza de coordenadas geográficas e da altitude de um ponto que são lidas por meio de um processo de triangulação ou multiangulação, no qual são selecionados, no mínimo, os quatro satélites melhor posicionados em relação aos aparelhos situados na superfície terrestre (FITZ, 2008).

Mesmo com a evolução do GPS que tem sido aperfeiçoado com a utilização de novas tecnologias, dentre estas podemos citar o A-GPS, que é um sistema que realiza comunicação não só com satélite, mas também com antenas de celulares, é inviável a utilização em ambientes fechados, pois nesses ambientes possuem muitos obstáculos no qual diminuem a precisão e alguns locais fica impossibilitado a comunicação.

Utilizando esses sinais de radiofrequência, o objetivo é desenvolver um protótipo utilizando um mapa de Received Signal Strength Indicator (RSSI), o mapeamento de sinais registrados em uma base de dados em decibel miliwatt (dBm), que servem como referência para localização do sistema. Este processo é realizado em duas fases: off-line e on-line. Durante a fase off-line, a qual deve ser executada apenas uma vez, é feito um mapa de sinal que registra a potência do sinal obtido pelo receptor em um banco de dados para posteriormente comparar em tempo real na fase on-line. A trilateração e a multilateração utilizam a distância entre o aparelho receptor e a antena e tem como objetivo utilizar posições fixas dos emissores e a distância que cada uma está em relação a um mesmo ponto, cuja posição é desconhecida (FAGUNDES, 2008; MOURA, 2007).

2. Objetivos

Utilizar as coordenadas geográficas e potencia de sinais bluetooth para localização em ambientes fechados a partir dessa tecnologia, realizando uma análise comparativa entre os métodos de trilateração e fingerprinting com objetivo de obter resultados comparativos de estabilidade, confiabilidade e precisão da localização do dispositivo móvel.

3. Sinais de rádio frequência

A comunicação Wireless é a transferência de dados ou informações entre dois ou mais pontos que não estão conectados fisicamente por um condutor elétrico, essa tecnologia funciona através de rádio frequência, que são comunicações via ondas de rádio, ou seja, faz comunicação entre emissor e receptor, onde emissor envia sinais de radiofrequência que são captados por um aparelho receptor (KUROSE, 2010; MOURA, 2007).

Nesse trabalho foi utilizado o padrão 802.15.1 popularmente conhecido como *bluetooth*. Os sinais *bluetooth* serão transmitidos pelos beacons, que são transmissores de pequeno tamanho, e atuam como antenas e transmitem sinal *broadcast*, enviando um identificador único para os dispositivos que estiverem ao alcance. Atualmente *bluetooth* utiliza o mesmo tipo de ondas de rádio dos roteadores Wi-Fi, operando na frequência 2.4Ghz (BEKKELIEN, 2012).

3.1. Beacons

Uma rede IEEE 802.15.1 ou bluetooth opera sobre uma faixa, a baixa potência, e a um custo baixo para interconectar tablets, aparelhos periféricos, telefones celulares, notebooks, etc. Utiliza uma frequência de rádio com ondas curtas, não consegue um alcance muito longo se comparado com outras tecnologias. A tecnologia bluetooth evoluiu e está na versão 4.0, conhecido como bluetooth Low Energy (BLE). Nessa versão traz alguns aprimoramentos em relação à anterior no qual consumia mais energia e exigia o pareamento. Estes dispositivos podem funcionar por até 2 anos com uma única bateria de moeda, claro que com uso moderado dependendo da frequência que eles transmitem as informações, podem variar o consumo da bateria. Uma das principais vantagens do bluetooth é que essa tecnologia se encontra incorporada na maioria dos dispositivos móveis (RODRIGUES, 2013).

Na versão bluetooth 4.0 os dispositivos podem receber o sinal de rádio *bluetooth* sem pareamento, mesmo que nunca tenha se conectado anteriormente. Com a propagação de sinal visível é possível medir a intensidade do sinal recebido, quanto mais perto estiver da antena, a intensidade do sinal será maior, com essa potência recebida podem-se manipular esses dados para obter a geolocalização. Os dispositivos podem captar o sinal a partir de mais de uma antena ao mesmo tempo, pois cada antena enviará para o dispositivo um identificador, no qual cada uma conterá informações exclusivas. Se houver três ou mais antenas dentro do alcance, o dispositivo poderá calcular a distância de cada antena e usar esses dados para estimar a sua posição no espaço geográfico.

3.2. Filtro de Kalman

O filtro de Kalman é utilizado para medir grandezas ao longo do tempo, principalmente dados que contém ruídos. Após ler as medições realiza os tratamentos que tende a aproximar os valores associados. Esse método é utilizado em várias áreas, principalmente nas engenharias que desenvolvem equipamentos para tecnologias espaciais e militares (Almeida, 2014).

O filtro reproduz estimativas dos valores reais a partir do histórico dos valores medidos, estimando a incerteza através de uma média ponderada entre os valores registrados anteriores e o valor medido atual. Geram-se estimativas através de métodos que tendem a estar mais próximas dos reais que as medidas originais, pois a média ponderada apresenta uma melhor estimativa de incerteza que ambos os valores utilizados no seu cálculo (Almeida, 2014).

4. Modelos de orientação

Para determinar uma posição no espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos, através de tecnologias digitais, deve-se levar em conta uma série de conhecimentos e informações que podem ser trabalhados de maneira, ágil, fácil e rápida com as novas tecnologias.

Existem três características que representam informações relevantes para a localização: ângulo do sinal, o instante em que o sinal chega e a potência do sinal. Essas informações podem ser utilizadas para estimar o tempo de percurso entre a antena emissora e receptora, e a potência com que esse sinal é recebido que pode ser chamado de RSSI. A partir desses dados podem-se combinar técnicas e cálculos específicos para determinar a posição em um ambiente interno.

4.1. Trilateração

As técnicas de trilateração consistem em utilizar a distância entre o aparelho receptor e as antenas que emitem o sinal, a partir de três posições fixas dos dispositivos responsáveis por emitir o sinal, e a distância que cada uma está em relação a um mesmo ponto, cuja posição é desconhecida. De forma teórica ocorre a formação de três circunferências com raios de tamanho variável, cada um possui um ponto desconhecido como centro conforme demonstrado na figura 1 (REAL, 2012).

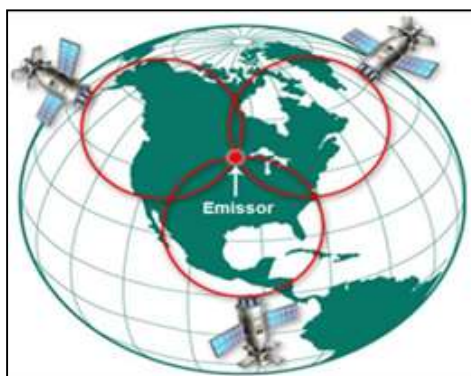


Figura 1. Ilustração das posições dos beacons no ambiente

4.2. Formula para obter a distância

Após análises de distância obtidas através de testes com diferentes *beacons*, foi determinada a melhor fórmula para utilizar com a trilateração e determinar a distância entre o dispositivo móvel e o *beacon* que emite o sinal. Na fórmula 1 demonstrada foi a que melhor apresentou resultados levando em consideração a distância entre 1 e 6 metros.

$$y = 0,89976 * \left(\left(\frac{\text{RSSI}}{\text{taxaRssi}} \right)^{6,8} \right) \quad (1)$$

Na fórmula 1 para ser utilizada deve-se alterar as variáveis RSSI e a taxa da potência do sinal definida na distância de 1 metro. A variável RSSI é obtido através da comunicação direta entre o dispositivo móvel e o *beacon*, utilizando a comunicação pelo protocolo *Eddystone* consegue-se obter a potência do sinal RSSI. A variável taxa de potência é obtida na fase de calibração onde é alocado o dispositivo móvel a uma distância de um metro do *beacon*, esse valor obtido, é definido a taxa de potência para esse beacon.

4.3. Fingerprinting

O método de localização baseado em *fingerprinting* consiste em obter na fase *off-line* ou fase de treinamento o mapa de sinais. O mapa é criado após determinar um ambiente para mapear, que consiste em coletar a potência do sinal dos *beacons* em determinados pontos do ambiente. Após essa coleta é realizado os testes na fase *on-line*, que é escolhido um ponto no ambiente previamente mapeado, e através do algoritmo realiza a análise dos dados comparando-os com os dados obtidos da fase *off-line*.

CLASSE kNN			
A	B	C	CLASSE
-70	-76	-78	1
-70	-76	-77	1
-70	-76	-78	1
-66	-77	-78	1
-67	-77	-77	1
-66	-77	-77	1
-67	-77	-78	1
-66	-77	-78	1

Tabela 1. Exemplo de amostras de sinal RSSI do ponto 1 demonstrado na classe do kNN

O mapa de sinais foi preenchido conforme pode se observar na tabela 1, onde as variáveis A, B e C estão representando a potência do sinal de cada *beacon*, e a classe é o ponto no ambiente. Nesse exemplo foi utilizado três beacons, a partir de três amostras de potência do sinal é atribuído para uma classe, que essa classe representa um local no ambiente.

5. Trabalho desenvolvido

No trabalho foi desenvolvido um aplicativo para realizar comunicação entre o dispositivo móvel e os *beacons* através do protocolo Eddystone, e algoritmos para obter a localização em um ambiente fechado utilizando as técnicas de *fingerprinting* e trilateração, com objetivo de compará-los. Para realizar os testes foi necessário desenvolver um protótipo para estimar a localização do dispositivo móvel em ambientes fechados através de um local previamente mapeado, utilizando a comunicação através da tecnologia *bluetooth*, a fim de obter resultados dos métodos de trilateração e *fingerprinting* combinado com kNN com objetivo de definir detalhes sobre precisão das estimativas de posição de cada algoritmo e confiabilidade dos sinais medidos em pontos fixos, não foi considerada a altura do ambiente, pois os testes foram realizados com o dispositivo e os beacons na mesma altitude.

5.1. Amostras sinais e filtro de Kalman

No projeto foi necessário utilizar da potência do sinal RSSI para realizar os cálculos para determinar a posição no ambiente. Após comunicação entre o dispositivo móvel e o *beacon*, foi identificado que esse sinal de rádio frequência sofre oscilações devido as interferências externas do ambiente. Realizou-se coleta de dados do *beacon* utilizando pontos fixos nas distâncias de 1, 2, 3 e 6 metros por um minuto cada distância utilizando duas amostras coletadas em dias diferentes.

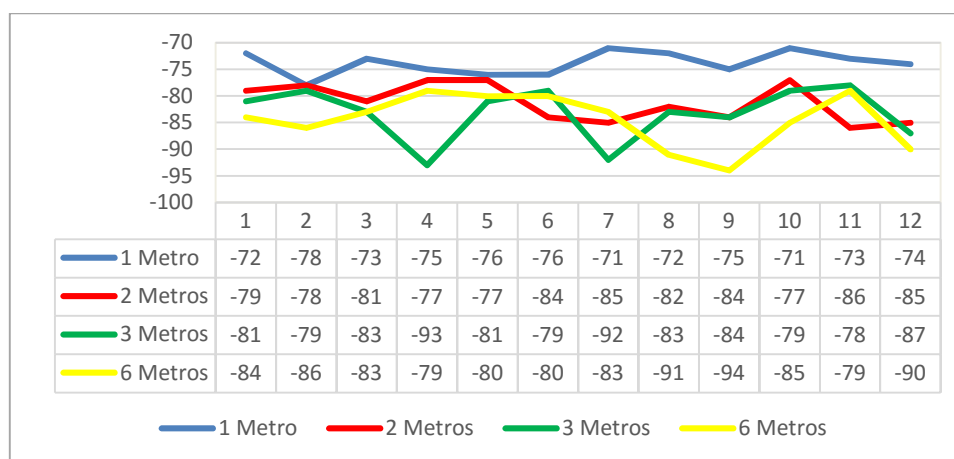


Figura 2. Ilustração das posições dos beacons no ambiente

A partir das informações demonstradas na figura 2 foi possível verificar que os fatores externos influenciam na potência do sinal e para desenvolver um aplicativo de geolocalização deve-se levar em conta esse fator como um dos principais problemas para definir a posição exata ou com a menor taxa de erro possível.

Depois de desenvolvido o filtro de Kalman foi realizado novos testes, observando as potências de sinais RSSI para verificar a estabilidade do sinal. Para realizar os testes foram coletadas 10 amostras do *beacon* utilizando a mesma metodologia do teste de variação da potência RSSI sem o filtro. Notou-se melhor desempenho e resultado mais satisfatório com uso do filtro de Kalman, o resultado pode ser observado na figura 3.

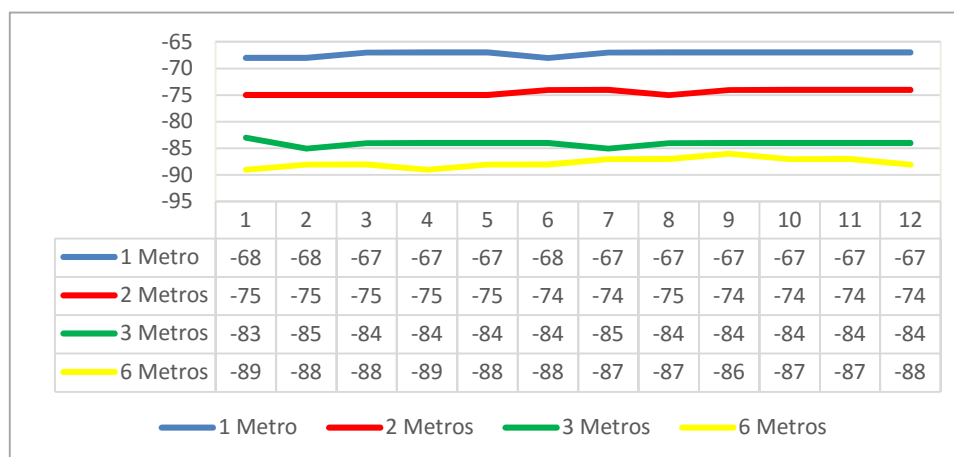


Figura 3. Ilustração das posições dos beacons no ambiente

A partir dessas amostras concluiu-se que para ser possível realizar os métodos matemáticos para cálculo da trilateração, foi necessário utilizar esse filtro, que se mostrou eficiente para o problema de oscilação na potência do sinal. Conforme foi constatado, continha muitos picos nos registros das potências registradas e a partir desse momento foi possível diminuir essas oscilações o que proporcionou a viabilidade do uso com a técnica de trilateração.

5.2. Trilateração

Os testes da trilateração foram realizados a fim de comparar a posição estimada pelo algoritmo com os pontos mais próximos determinados no ambiente utilizando distância Euclidiana. Foi possível estimar a quantidade de acertos e erros nas distâncias em metros. Após registrar 10 coletas de posições nos pontos 1, 8 e 15 para realizar análise para

demonstrar as quantidades de acertos. Os pontos no ambiente estão sendo representados pelos números de 1 a 15. As letras A, B e C representam os beacons conforme ilustrado na figura 4.

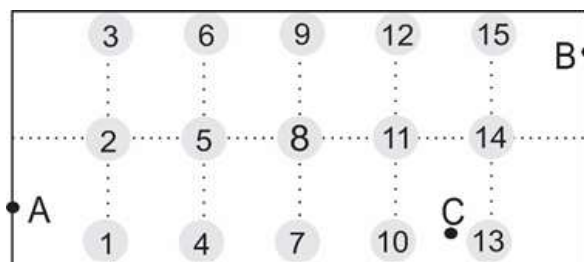


Figura 4. Ilustração das posições dos beacons no ambiente

O algoritmo de trilateração não se mostrou muito eficiente em questão de precisão, teve uma margem de acerto média nos pontos verificados de 50% e margem de erros em metros máxima de 3 metros conforme demonstrado na figura 5.

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	14	9	14	15	15	8	8	15	15	15
Acerto(%)	50%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	8	5	8	8	8	11	9	8	8	7
Acerto(%)	60%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	2	1	1	3	2	2	4	1	1	4
Acerto(%)	40%									

Figura 5 - Quantidade de acertos primeiro teste algoritmo de trilateração

5.3. Fingerprinting

Para realizar as coletas dos sinais foi modelado um mapa de sinais baseado em um ambiente disposto de quatro *beacons*, cada *beacon* foi instalado em um local diferente dos outros. Após colocá-los em um ambiente de 6 metros de comprimento por 3 metros de largura, passou-se a conhecer suas posições. Foram utilizadas as mesmas posições dos *beacons* nos testes realizados na trilateração.

Devido as variações do sinal notou-se não ser possível coletar apenas uma amostra por ponto no ambiente para alimentar o mapa de sinais, pois as posições estimadas não seriam confiáveis e teriam baixas quantidades de acertos.

Portanto, foi coletado 20 amostras para cada ponto no ambiente, a partir dessas amostras foi utilizado o algoritmo de kNN que para realizar a identificação das posições no ambiente através de comparação das amostras dos sinais com a posição real.

Os pontos utilizados para testes na fase online foram os pontos 1, 8 e 15, no qual foi coletado em ponto fixo 10 amostras para cada ponto. Obteve-se 47% de acerto através de uma média dos pontos verificados.

Foram realizados novos testes utilizando cem amostras para cada ponto no ambiente para alimentar o mapa de sinais e realizar os testes novamente nos mesmos pontos coletados anteriormente. Foi obtida uma porcentagem de acerto de 63,33% nas amostras feitas em

tempo real com margem de erro máxima de 1,5 metros. A amostra dos pontos 15 e 8 tiveram margem de erros de um metro em relação ao ponto real com porcentagem de acerto de 70% das vezes. Enquanto o ponto 1 foi o pior caso, atingiu margens de erros de um metro e meio e 60% de acerto dos testes aferidos em tempo real.

Os testes foram refeitos com uma quantidade maior de *beacons*. Os *beacons* foram realocados no ambiente em locais diferentes conforme está sendo ilustrado na figura 6.

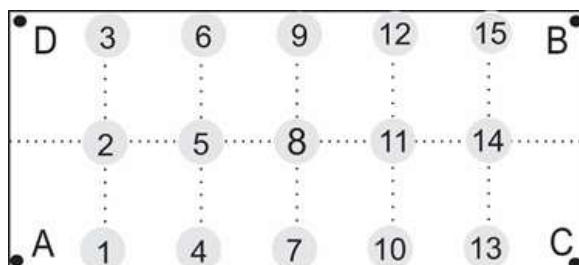


Figura 6. Ilustração das posições dos beacons no ambiente

Os testes foram realizados utilizando 100 amostras de 4 *beacons* em cada ponto no ambiente, para após comparar na fase on-line. Na fase on-line foi posicionado o dispositivo no ambiente nos pontos 1, 8 e 15 para coleta de dez amostras para comparar as quantidades de acertos e erros em metros obtidos nos testes.

Posição Real:	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posição Aferida:	14	15	15	14	12	12	15	15	15	15
Acerto(%)	60%									
Posição Real:	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Posição Aferida:	8	9	8	8	8	8	8	11	8	8
Acerto(%)	80%									
Posição Real:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posição Aferida:	1	1	1	1	4	1	1	1	2	2
Acerto(%)	70%									

Figura 7. Acertos utilizando 4 beacons e cem amostras na fase off-line

Como pode ser observado na figura 7 o ponto 15 teve o pior caso nesse teste com uma margem de acerto de 60% nesse segundo teste. Portanto, podemos considerar após várias análises um percentual de acerto médio dos pontos em 70%, considerando como margem de erro máxima de 60% e acerto máximo 80%. Pode-se considerar que a técnica de *fingerprinting* combinada com kNN foi melhor nos resultados pois obteve um erro máximo de 1,5 metros nas baterias de testes realizadas durante a implementação deste trabalho.

6. Conclusão

Durante o estudo realizado foi observado que as imprecisões constatadas nos testes de localização ocorreram quando o sinal de rádio frequência registrava picos de sinal, que foram ocasionados devido a fatores externos não identificados. Para amenizar essas oscilações foi utilizado o filtro de Kalman, que se mostrou eficiente para essa função. A partir desse filtro aplicado foi possível a utilização do algoritmo de trilateração e *fingerprinting* com maior eficiência.

A técnica de fingerprinting combinado com kNN respondeu de forma satisfatória com relação ao modelo de armazenamento desenvolvido. Nos testes realizados foi encontrada quantidade de acerto de 70% e margem de erro de máximo de 1,5 metros. Nesse método verificou-se um melhor desempenho na quantidade de acertos e maior precisão na localização. A principal desvantagem se dá pelo fato de ser necessário mapear completamente um ambiente coletando amostras do sinal em cada ponto, o que pode ser tornar muito trabalhoso em grandes ambientes coletar essas amostras.

Nos testes realizados utilizando a trilateração pode ser observada uma quantidade de acerto de 50% das vezes estimadas com margem de erro máxima de 3 metros. Este algoritmo se mostrou eficiente quanto a facilidade de mapear o ambiente, bastando apenas colocar em um ponto fixo e determinar suas posições de latitude e longitude. A principal desvantagem do algoritmo é o aumento do erro de até 1,5 metros se comparado com a técnica de fingerprinting.

Portanto, a técnica de fingerprinting se mostrou mais eficiente que a técnica de trilateração utilizando sinal bluetooth, levando em consideração quantidade de acertos nos pontos mapeados no ambiente e melhor precisão. Enquanto a técnica de trilateração superou na agilidade de mapear um ambiente para utilização do mesmo.

7. Referências

- ALMEIDA, T.E.P. **Sistema de sensoriamento de orientação para um veículo aquático de superfície utilizando sensores de baixo custo**. Escola de engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, p. 36. 2014.
- BEKKELIEN, Anja. **bluetooth Indoor Positioning**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computer Science, University Of Geneva, Carouge, 2012.
- DILÃO, Rui. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. 2010. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/cartografia/gps-sistema-de-posicionamento-global/>>. Acesso em: 01 set. 2014.
- FAGUNDES, L. P. **Técnicas de Localização de Dispositivos Móveis em Redes Wi-Fi – TDOA**. 2008, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- KUROSE, James F. e ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a Internet: Uma abordagem top-down**. 3ª edição. São Paulo. Pearson Education do Brasil. 2006.
- MOURA, A. L. **WBLs: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.
- REAL, C. V. **Sistema de localização baseado em redes Wi-Fi**. 2012, Universidade do Sul De Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- RODRIGUES, F. C. **Um estudo sobre abordagens para localização indoor**. 2013, Universidade Federal Do Ceará, Quixadá. 2013.