

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

**FRANCISCO MARCELO CORRÊA DA SILVA**

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA AMBIENTES  
INTERNOS**

São José dos Campos  
2014

**FRANCISCO MARCELO CORRÊA DA SILVA**

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA AMBIENTES  
INTERNOS**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Redes de Computadores.

**Orientador: Me. Giuliano Araujo Bertoti**

São José dos Campos  
2014

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

SILVA, Francisco Marcelo Corrêa da  
Sistema de Localização para ambientes internos.  
São José dos Campos, 2014.  
80f.

Trabalho de Graduação – Curso de Tecnologia em Redes de Computadores, FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal, 2014.  
Orientador: Mestre Giuliano Araujo Bertoti.

1. Áreas de conhecimento. I. Faculdade de Tecnologia. FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal. Divisão de Informação e Documentação. II. Título

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA –**

SILVA, Francisco Marcelo Corrêa da Silva. **Sistema de Localização para ambientes internos**. 2014. 80f. Trabalho de Graduação - FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal.

**CESSÃO DE DIREITOS –**

NOME DO AUTOR: Francisco Marcelo Corrêa da Silva  
TÍTULO DO TRABALHO: Sistema de Localização para ambientes internos  
TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação / 2014.

É concedida à FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal permissão para reproduzir cópias deste Trabalho e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

Francisco Marcelo Corrêa da Silva  
Rua Lupus, 265, Jardim da Granja  
CEP 12227-400 – São José dos Campos - SP

**FRANCISCO MARCELO CORRÊA DA SILVA**

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA AMBIENTES  
INTERNOS**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Redes de Computadores.

---

**Vânia Oleinki, Me, Instituição**

---

**Jean Carlos, titulação e Instituição**

---

**Giuliano A. Bertoti, Me, FATEC**

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**DATA DA APROVAÇÃO**

Dedico este trabalho a minha mãe, que nunca deixou de me apoiar, a minha filha tão especial e a minha amada esposa a qual sem ela nada teria sentido.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os professores da Fatec que participaram direta ou indiretamente de minha formação, pois todos eles sabiam de minha dificuldade em dedicar tempo aos estudos devido ao trabalho e a família e sempre me apoiaram a continuar.

Agradeço em especial o professor Giuliano A. Bertoti que me apoiou, mesmo antes de ser oficialmente meu orientador, o que motivou de forma imensurável o desenvolvimento deste trabalho e o foco para que o mesmo alcançasse seu objetivo.

Agradeço também de forma especial o professor e coordenador dos cursos de informática da FATEC, professor Eduardo Sakaue, por ter sugerido o tema deste trabalho, me apoiado durante todo o desenvolvimento do mesmo e também durante toda a minha formação.

Agradeço todos os amigos que tive o prazer de estudar junto nestes anos, em especial os alunos do curso de Redes de Computadores que, assim como eu, com muita luta conseguiram chegar ao fim da graduação superando todos obstáculos.

Enfim agradeço a oportunidade de ter sido aluno desta excelente faculdade, composta de pessoas sérias e motivadas, que não medem esforços no apoio aos seus alunos. É impossível deixar de comentar que foram anos que nunca serão esquecidos, em seus mínimos detalhes, durante toda minha vida.

“Saber muito não lhe torna inteligente. A inteligência se traduz na forma que você recolhe, julga, maneja e, sobretudo, onde e como aplica esta informação.”

Carl Sagan

## RESUMO

Hoje, a mobilidade digital é algo presente em todo mundo, e explorar aplicações que a utilizem como base é uma atividade que faz parte do portfólio dos profissionais de TI no atual mercado. Um exemplo, são as redes sem fio que utilizam a tecnologia Wi-Fi e estão presentes em todos os ambientes, sejam eles públicos, como por exemplo shoppings, escolas e parques, ou mesmo privados, como indústrias, comércios e residências. Portanto, considerando as redes sem fio Wi-Fi uma tecnologia compartilhada (utiliza o ar como meio de propagação), pode-se explorar esta infraestrutura já existente para aplicações diversas. O conceito de localização em ambientes internos, é um exemplo de aplicação a ser explorada com a utilização das redes Wi-Fi. Hoje, já se dispõe de uma infraestrutura pronta para ser utilizada por aplicações que necessitem de seu produto compartilhado, o chamado sinal *wireless*, que são as ondas eletromagnéticas irradiadas pelos diversos *Access Points* espalhados nos ambientes. Para localização em ambientes externos, já se possui o bem sucedido GPS (*Global Position System*) que utiliza satélites como referência para estimar localização. O desafio atual está nos ambientes internos, ainda que já bem explorados, não possui um sistema difundido como o GPS, devido às variantes dos ambientes fechados, como obstruções ao sinal, interferências e demais dificuldades descritas neste trabalho. Por este motivo, este tema é desafiador e motiva pesquisas e testes com o objetivo de alcançar a maior precisão possível nas estimativas de localização em ambientes internos. Não foi objetivo deste trabalho desenvolver um sistema extremamente preciso para localização, porém desejou-se alcançar o entendimento dos sistemas atuais, desenvolvendo um sistema que cumpra sua funcionalidade básica, no caso a localização em ambientes internos, motivando próximos estudos para aperfeiçoamento do mesmo.

**Palavras Chave:** Wi-Fi; Localização; Mobilidade; *Access Points*; *Wireless*; GPS; Ambientes Internos e Externos; Ondas Eletromagnéticas.



## ABSTRACT

Today, the digital mobility is something present in this world, and explore applications that use it as a base is an activity that is part of the portfolio of IT professionals in today's market. An example are wireless networks that use Wi-Fi technology that are present in all environments, be they public, such as shopping malls, schools and parks, or private environments, such as industries, businesses and homes. Therefore, considering the Wi-Fi networks without wire as a shared technology (using air as the propagation medium) can exploit this existing infrastructure for diverse applications. The concept of localization in indoor environments, is an example of application to be explored with the use of wireless networks, in this case, Wi-Fi networks. Today, already has a ready infrastructure to be used by applications that require your shared product, called the wireless signal, which are electromagnetic waves radiated by different access points spread across our cities. For localization in outdoor environments, already has successful GPS (Global Position System) which uses satellites as reference to estimate location. The challenge is in indoor environments, although already well investigated, does not have a widespread as the GPS system, due to variations in closed environments such as obstructions to the signal, interference and other problems that are described in this work. For this reason, this topic is challenging and motivating research and testing in order to achieve the highest possible accuracy in the estimates of location indoors. Objective of this work was not to develop a highly accurate system for locating, but it was desired to achieve understanding of current systems by developing a system that meets its basic functionality, in case the location indoors, motivating further studies to improve the same.

**Key words:** Wi-Fi; Location; mobility; Access Points; Wireless; GPS; Internal and external environments; Electromagnetic waves.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Proposta Metodológica	13
Figura 2 – Espectro de frequências	16
Figura 3 – Padrões IEEE 802.11	17
Figura 4 – Topologia em redes sem fio	18
Figura 5 – Indicador RSSI em um notebook	19
Figura 6 – Comparação do modelo OSI x 802.11	21
Figura 7 – Formato do quadro PHY 802.11g	23
Figura 8 – Segmento Espacial Satélites GPS	26
Figura 9 – Triangulação em GPS	27
Figura 10 – Técnica AOA (Angle Of Arrival)	29
Figura 11 – Técnica TOA (Time Of Arrival)	30
Figura 12 – Técnica de Análise de Ambiente – Mapa de RSSI	32
Figura 13 – Arquitetura da plataforma Android	35
Figura 14 – IDE Processing	37
Figura 15 – Funcionamento geral	38
Figura 16 – Access Point Zinwell Z Plus G220, Smartphone Samsung Galaxy Ace Duo	39
Figura 17 – Planta da residência	41
Figura 18 – Código do COLETA_WIFI_V1	42
Figura 19 – COLETA_WIFI_V1 em funcionamento	43
Figura 20 – Planta da residência com RSSI coletadas	45
Figura 21 – Código do LOCALIZADOR_WIFI_V1	46
Figura 22 – Dispositivo na sala de jantar	47
Figura 23 – Dispositivo no quarto 2	47
Figura 24 – Caminhos percorridos na coleta de RSSI	48
Figura 25 – Gráfico de variação da RSSI nos caminhos percorridos	49
Figura 26 – Access Points adicionais – TPLINK TL-WR741N	50
Figura 27 – Distribuição dos Access Points na planta da residência	52
Figura 28 – Código do COLETA_WIFI_V2	53
Figura 29 – Coleta RSSI no dispositivo móvel – Protótipo 2	54
Figura 30 – Código do LOCALIZADOR_WIFI_V2	56
Figura 31 – Posições determinadas para testes de localização	58
Figura 32 – Eficiência do sistema de localização	60
Figura 33 – Antena Wi-Fi Samsung Galaxy S3 19300	61
Figura 34 – Antena Wi-Fi do Smartphone Galaxy S Duos	62
Figura 35 – Variação de RSSI – Sala de Jantar x Sala de Estar	62
Figura 36 – Variação de RSSI – Sala de Estar	63
Figura 37 – Variação de RSSI – Sala de Estar x Quarto 2	63
Figura 38 – Variação de RSSI – Quarto 2	64
Figura 39 – Variação de RSSI – Sala de Jantar x Sala de Estar – 3 Access Points	64
Figura 40 – Variação de RSSI – Sala de Estar x Quarto 2	65
Figura 41 – Variação de RSSI – Quarto 2	65
Figura 42 - Variação de RSSI – Quarto 2 – Movimentação	66
Figura 43 – Eficiência do sistema de localização pós calibragem	68
Figura 44 – Variações de RSSI	69
Figura 45 – Possíveis condições de variação de RSSI não coletadas	69
Figura 46 – Possíveis condições de variação de RSSI coincidentes simultâneas	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coleta de RSSI com COLETA_WIFI_V1	44
Tabela 2 – Coleta de RSSI com COLETA_WIFI_V2	55
Tabela 3 – Resultados de teste de localização	59
Tabela 4 – Calibragem do sistema utilizando COLETA_WIFI_V2	67

## SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO</b>	13
1.1 - Motivação	13
1.2 - Objetivos	14
1.2.1 - Objetivo Geral	14
1.2.2 - Objetivos Específicos	14
1.3 - Proposta Metodológica	14
1.4 - Organização do trabalho	15
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	16
2.1 - Redes sem Fio	16
2.1.1 - História	16
2.1.2 - Definições	16
2.1.3 - Wi-Fi – Funcionamentos	18
2.1.4 - Wi-Fi Parâmetros	17
2.1.5 - Wi-Fi – Arquitetura do modelo 802.11	21
2.1.6 - Wi-Fi – Camadas e interfaces no modelo 802.11	22
2.2 - Localização	24
2.2.1 - História	25
2.2.2 - Localização em ambientes externos	26
2.2.3 - Sistema GPS	26
2.2.4 - Localização em ambientes internos	28
2.2.5 - Técnicas de Localização	29
2.3 - Plataforma Android	34
2.3.1 - História	34
2.3.2 - A plataforma Android	35
2.3.3 - Desenvolvimento Android e Linguagem Java	36
2.3.4 - API Wi-Fi para Android	37
2.3.5 - Linguagem Processing	37
<b>3- DESENVOLVIMENTO</b>	39
3.1 - Técnica utilizada	39
3.2 - Protótipo 1	40
3.2.1 - Componentes mínimos	40
3.2.2 - Premissas	41
3.2.3 - Limitações	41
3.2.4 - Funcionamento	42
3.2.5 - Testes e Resultados	49
3.3 - Protótipo 2	51
3.3.1 - Componentes Mínimos	51
3.3.2 - Premissas	52
3.3.3 - Limitações	52
3.3.4 - Funcionamento	52
<b>4 - TESTES E RESULTADOS</b>	59
4.1 - Testes de Localização	59
4.2 - Desafios encontrados	61
4.3 - Testes em outros dispositivos	72
<b>5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	74
5.1 - Contribuições e conclusões	74
5.2 - Trabalhos Futuros	75

**REFERÊNCIAS**

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de localização GPS (*Global Positioning System*), que utiliza comunicação via satélite, já está amplamente difundido para utilização e realiza com satisfatória eficácia e precisão localização em ambientes externos (MÔNICO, 2000). As empresas desenvolvem produtos cada vez mais modernos e precisos que utilizam o sistema de comunicação via satélite para estimar localização. Portanto, baseado nestas informações, pode-se dizer que o GPS é um sistema completo e eficaz, no que diz respeito a localização em ambientes externos, o que ainda não acontece com a localização em ambientes internos.

Os termos ambientes internos e externos foram muito utilizados neste trabalho, portanto definiu-se como ambientes externos todos ambientes livres de obstáculos como ruas, parques, praças, estradas, ou seja, ambientes a céu aberto e ambientes internos, todos ambientes fechados como residências, prédios, shoppings, indústrias, etc....

### 1.1. Motivação

Em ambientes internos o GPS é falho pois a comunicação via satélite não é eficaz com a presença de obstáculos, ou seja, a potência de sinal do satélite não é suficiente para quebrar barreiras encontradas no caminho, como paredes de concreto em edifícios, metais, vidros e demais materiais (LEANDRO, 2009). Para tanto, diversas técnicas foram propostas para solucionar o problema de localização interna, porém ainda não tem-se, de forma definitiva, uma solução como o GPS é para a localização externa.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram pesquisadas as principais iniciativas no desenvolvimento de sistemas para localização em ambientes internos e percebeu-se que o assunto está em pleno desenvolvimento com o objetivo de alcançar sistemas cada vez mais modernos e precisos. A maior motivação para o desenvolvimento deste trabalho veio quando, após consultar o sistema de localização *indoor* Ubee.in, eleito o quarto mais preciso do mundo (MICROSOFT, 2014) e disponível para *smartphones* com sistema Android, o desenvolvedor e pesquisador do sistema, André S. Ferraz, enviou um e-mail explicando sobre o assunto: “Acho que a complexidade de um sistema como este é muito alta para o nível exigido em um TG. De qualquer forma, estou colocando em cópia o Lucas, que é do nosso time de localização *indoor* para te ajudar.” Este e-mail alavancou a motivação, que já era grande, em estudar e desenvolver o assunto sobre localização em ambientes internos.

## 1.2. Objetivos

Nas subseções a seguir são apresentados os objetivos deste trabalho.

### 1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de localização para ambientes internos.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estudo e conceituação de redes sem fio e os parâmetros relevantes a localização em ambientes internos.
- Estudo e análise de técnicas de localização para ambientes internos com uso de redes sem fio.
- Análises e testes com manipulação de *hardwares* de redes sem fio.
- Implementação de um sistema de localização para ambientes internos.
- Análise de resultados obtidos pelo sistema implementado.

## 1.3. Proposta Metodológica

Para atender os objetivos deste trabalho, a metodologia de pesquisa e desenvolvimento utilizada foi estruturada em alguns pilares principais de atividades, ilustradas na Figura 1.

**Figura 1 – Proposta Metodológica**



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 1 ilustra as principais atividades já em suas ordens de execução, porém como o assunto tratado encontra-se em fase de desenvolvimento em vários trabalhos pesquisados, não existe uma ordem concreta de execução, pois as técnicas e métodos de localização em ambientes internos não demonstram ser eficientes em diferentes tipos de ambientes. Por este motivo as atividades principais repetiram-se afim de se obter resultados mais satisfatórios no que se diz localização em ambientes internos.

A pesquisa inicial baseou-se em conhecer o funcionamento de redes sem fio e os parâmetros necessários para estimar localização. Nesta etapa optou-se pelo uso de redes com a tecnologia Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), justamente por ser um tipo de rede comum em ambientes internos. Existem várias técnicas para se estimar localização em ambientes internos que utilizam redes Wi-Fi e as mesmas foram detalhadas no Capítulo 2 deste trabalho. Visto que há uma variedade de formas, métodos e técnicas para se estimar localização em ambientes internos, a principal atividade proposta na metodologia foi a triagem destas variedades, considerando nível de complexidade, eficiência nos resultados, limites de aplicação e locais de aplicação. Esta atividade então, definiu o tipo de técnica, algoritmo, *hardwares*, *softwares* complementares para o desenvolvimento e testes do sistema.

#### **1.4. Organização do Trabalho**

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, cujo conteúdo é sucintamente apresentado a seguir:

- Capítulo 2: apresenta a revisão bibliográfica do trabalho.
- Capítulo 3: demonstra o desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes internos.
- Capítulo 4: expõe testes e os resultados obtidos do desenvolvimento.
- Capítulo 5: apresenta as considerações finais.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo visa conceituar e exemplificar toda a literatura consultada e necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

### **2.1. Redes sem Fio**

A utilização do ar como meio físico para tráfego de dados proporcionou uma alternativa as redes de dados que utilizam cabos para compartilhar informações, estas são as redes sem fio.

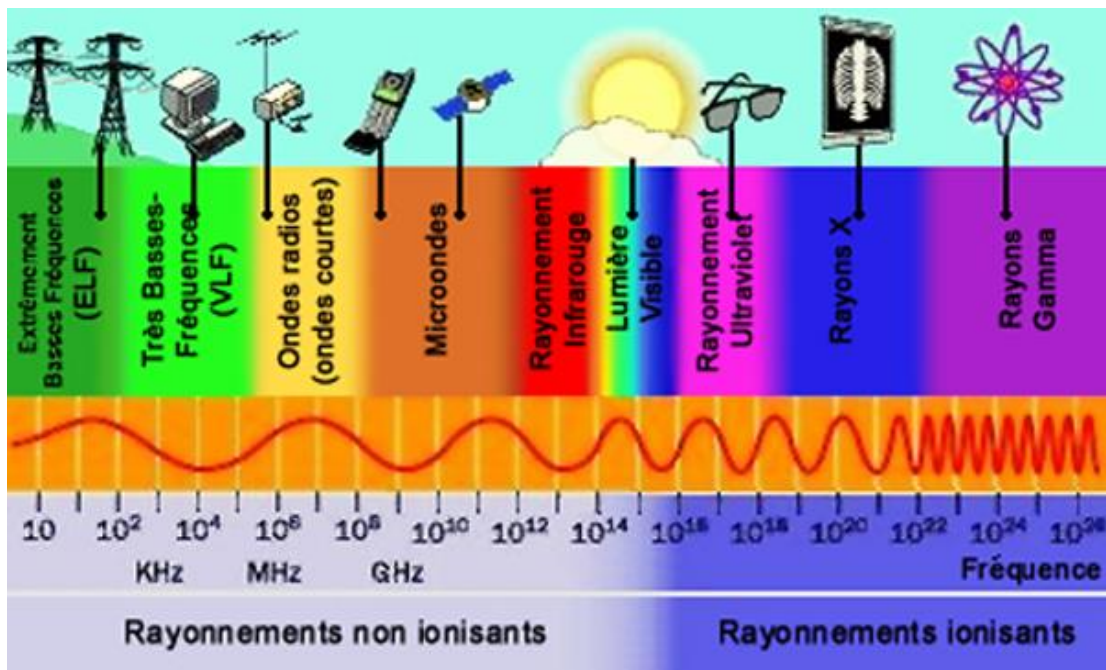
#### **2.1.1. História**

A tecnologia de comunicação sem fio já é utilizada a mais de um século. Em 29 de novembro de 1888 o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz conseguiu provar a existência de ondas eletromagnéticas (GERICKE, 2014). Mais tarde o sobrenome Hertz seria utilizado como padrão de unidade de medida para a grandeza física ondulatória frequência, justamente a grandeza física utilizada nas métricas das ondas. Hertz teve uma vida curta (1857 a 1894), porém colaborou intensamente nas comunicações sem fio através de seus experimentos com ondas eletromagnéticas (SUSSKIND, 1995) e deixou grande legado para as pesquisas, desde o telégrafo até o que possui-se hoje em tecnologias de redes sem fio.

#### **2.1.2. Definições**

Hoje já disseminada, a tecnologia de comunicações sem fio é classificada por tipos, variando o seu meio de transporte e tecnologia de transmissão, porém compartilhando do mesmo meio físico, o ar. Pode-se encontrar tecnologias que utilizem radiação infravermelha, ondas de rádio (incluindo micro-ondas) e ondas de satélite, que normalmente são classificadas pelo espectro de frequência que as mesmas abrangem. A Figura 2 ilustra a divisão e classificação baseado na faixa de frequência utilizada.

Figura 2 – Espectro de frequências



Fonte: ASTRONOO.COM, 2013.

O foco deste trabalho foi nas ondas de rádio, onde encontram-se várias tecnologias, como por exemplo: RFID, Bluetooth, Telefonia Celular (CDMA, TDMA, GSM, 3G, 4G), Wi-Fi e WIMAX (RAPPAPORT, 2009). Direcionando um pouco mais para o objetivo deste trabalho, o estudo foi na tecnologia Wi-Fi.

A tecnologia Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) foi criada e padronizada pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) em 1997 e especificada no Padrão IEEE 802.11 (IEEE, 2012). A empresa Wi-Fi Alliance é uma associação de empresas, criada para espalhar o uso das redes sem fio. Nasceu em 1999, com o nome de *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA) e em 2003 passou a ser *Wi-Fi Alliance* (ALECRIM, 2013). Eles trabalharam com o padrão 802.11 e licenciaram os produtos baseados na tecnologia sem fio. Desde então, a tecnologia Wi-Fi tornou-se amplamente utilizada em todo o mundo, em setores industriais, comerciais e residenciais. Hoje, em posse dos *smartphones* e outros dispositivos móveis, pode-se encontrar diversas redes Wi-Fi espalhadas em locais públicos como shoppings, supermercados, lojas, etc.... Foi este, um dos motivos para explorar esta tecnologia neste trabalho, pois já é uma estrutura disponível para o desenvolvimento de aplicações que a necessite.

### 2.1.3. Wi-Fi – Funcionamento

O Wi-Fi é uma das tecnologias mais utilizada no mundo no que diz respeito a tráfego de dados sem fio. Especificada no padrão 802.11 IEEE, é a tecnologia mais utilizada para as chamadas WLANS (*Wireless Local Area Networks*), que interligam os equipamentos que possuem conexão *wireless*, nas empresas, comércios e residências (WNDW.NET, 2013). O padrão 802.11 possui variantes, normalmente representadas por letras, como o 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, etc.... Estas variações são classificadas por questões de velocidades, faixas de frequência, largura de banda e técnicas de modulação (TORRES, 2014). Portanto, o padrão IEEE 802.11 sofreu várias revisões com correções técnicas e novas implantações como demonstra a Tabela 1:

**Tabela 1 – Padrões IEEE 802.11**

Revisão	Padrão	Banda - GHz	Modo	Velocidade
1997	802.11	2.4	DSSS, FHSS	2 Mbps
1999	802.11b	2.4	DSSS	11 Mbps
1999	802.11a	5	OFDM	54Mbps
2003	802.11g	2.4	OFDM	54Mbps
2009	802.11n	2.4 , 5	MIMO-OFDM	600 Mbps <sup>1</sup>
2014	802.11ac	5	MIMO-OFDM	6.76 Gbps <sup>2</sup>
2014	802.11ad	60	MIMO-OFDM	6.93 Gbps

<sup>1</sup> Na prática só foram lançados equipamentos de até 450Mbps  
<sup>2</sup> Na prática só serão lançados equipamentos de até 3,47 Gbps

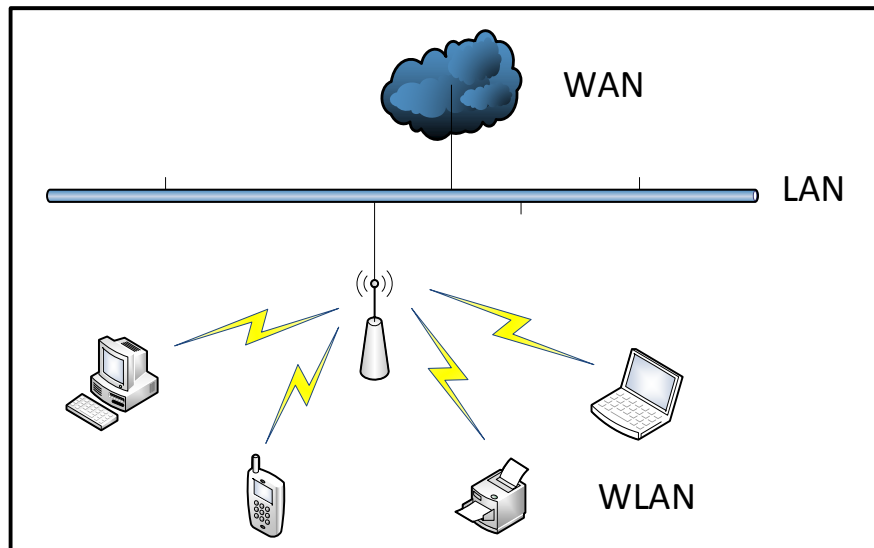
Fonte: TORRES, 2014

Hoje, os chamados *Access Points* residenciais já trabalham no padrão 802.11n, operando na frequência de 2.4 GHz ou 5GHz. A frequência 2.4GHz nos padrões 802.11b e 802.11g, é a mais aceita nos dispositivos móveis, como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, mas devido a uma “poluição” nesta frequência, pelo excessivo número de sinais que trafegam em ambientes públicos, ainda que em diferentes canais de transmissão, a frequência 5GHz no padrão 802.11n já vem sendo utilizada em diversos equipamentos e logo estará tão utilizada quanto a 2.4GHz.

A frequência 2.4GHz é muito utilizada nas WLANS, presente em residências, escritórios, indústrias, universidades e comércios. As WLANS assim como as redes cabeadas, tem a finalidade de compartilhamento de recursos de rede, como internet, arquivos, impressoras

e demais recursos. A Figura 4 demonstra uma topologia básica do funcionamento de uma WLAN.

**Figura 4 – Topologia em redes sem fio**



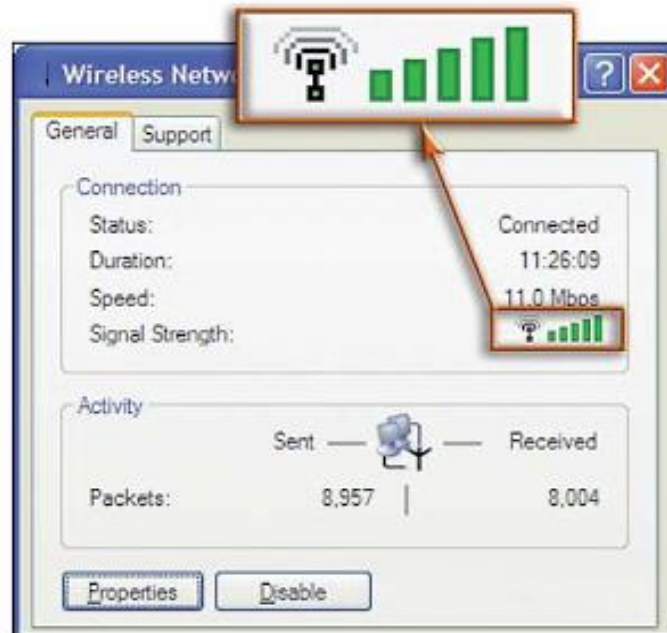
Fonte: TANENBAUM, 2003.

Na frequência 2,4GHz, temos as principais tecnologias b, g e n, cada uma com as suas características como visto na Tabela 1. Apesar da banda 802.11n já ser bastante utilizada nos dispositivos atuais, como os *Access Points* residenciais, para este trabalho o foco foi no padrão 802.11g, pois ele ainda é o padrão mais utilizado entre os dispositivos móveis mais comuns. Todos estes detalhes são importantes, pois o comportamento do sinal *wireless* varia de acordo com o padrão utilizado, por consequência, variando os parâmetros relevantes a este trabalho.

#### 2.1.4. Wi-Fi – Parâmetros

Além do funcionamento das WLANS, é importante conhecer os principais parâmetros físicos contidos nos sinais propagados pelos *Access Points*. Entre as técnicas de localização que foram abordadas neste trabalho, existem alguns parâmetros nos sinais Wi-Fi que são utilizados como referência para estimar localização. Um dos mais importantes é a RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) ou indicador do nível de sinal recebido, ou seja, a potência do sinal recebido pela estação (dispositivo móvel receptor). Todo ou pelo menos a maioria dos aparelhos que possuam capacidade de se conectar às redes Wi-Fi (*notebooks, smartphones, tablets, etc....*), possuem em seus visores ou telas um indicador visual que demonstra a RSSI.

**Figura 5 – Indicador RSSI em um *notebook***



Fonte: WINDOWS XP

A Figura 5 demonstra a visibilidade da RSSI por uma barra de progressão, no caso com todas barras preenchidas, ou seja, em teoria a potência do sinal recebido por esta estação (*notebook*) é máxima conseguida pelo *hardware*. A unidade de medida da RSSI é o bel (B), que indica a potência em formato de ganho final nos dispositivos. O ganho por si só, não corresponde a uma grandeza física, mas sim uma relação entre duas grandezas, por exemplo a potência de transmissão medida em Watts. Quando se diz que uma antena possui um ganho de 10dB por exemplo, se está dizendo que esta antena é capaz de transformar um sinal de 100mW em um sinal de 1W, no caso a divisão de 1W por 100mW, que seriam os 10dB de ganho. A atenuação, sendo o contrário do ganho, também é uma relação entre duas grandezas (TORRES, 2014).

A unidade dB utiliza uma escala logarítmica e não linear, pois em Telecomunicações as variações de grandezas como Watts e Hertz são muito altas, desta forma facilita-se os cálculos nas transmissões e recepções. É comum em telecomunicações utilizar a potência na ordem de miliwatts (mW) e normalmente os equipamentos trabalham com potências de até 500mW (TORRES, 2014), que seriam aproximadamente 27dBm como demonstra os cálculos:

$$PdBm = 10 \log PmW; \quad PdBm = 10 \log 500mW; \quad PdBm = 26,99dBm$$

Em uma transmissão sem fio, para se determinar o nível de potência recebido em um dispositivo, que seria a RSSI neste dispositivo, deve-se considerar o seguinte cálculo:

$$PdBm = \text{Potência Tx} + \text{Ganho Antena Tx} - \text{Atenuação} + \text{Ganho Antena Rx}$$

Neste cálculo desconsidera-se a perda nos materiais das antenas (cabos) pois são antenas pequenas. Portanto com um dos *Access Points* utilizados neste trabalho, o TP-LINK WR741ND, tem-se a potência do dispositivo em 15dBm e o ganho da antena omnidirecional de 5dB (TPLINK, 2014). A atenuação em um ambiente livre de obstáculos e interferências, em uma distância de 5 metros, seria de aproximadamente -55dBm utilizando a fórmula de transmissão de Friis (GIACOMIN, VASCONCELOS, 2006). Para um dispositivo móvel como o *smartphone*, desconsidera-se o ganho de suas antenas internas. Portanto, o nível de sinal de um *smartphone* a uma distância de 5 metros do Access Point WR741ND, tem-se no cálculo:

$$PdBm = 15dBm + 5dBm - 55dBm + 0dBm; \quad PdBm = -35dBm$$

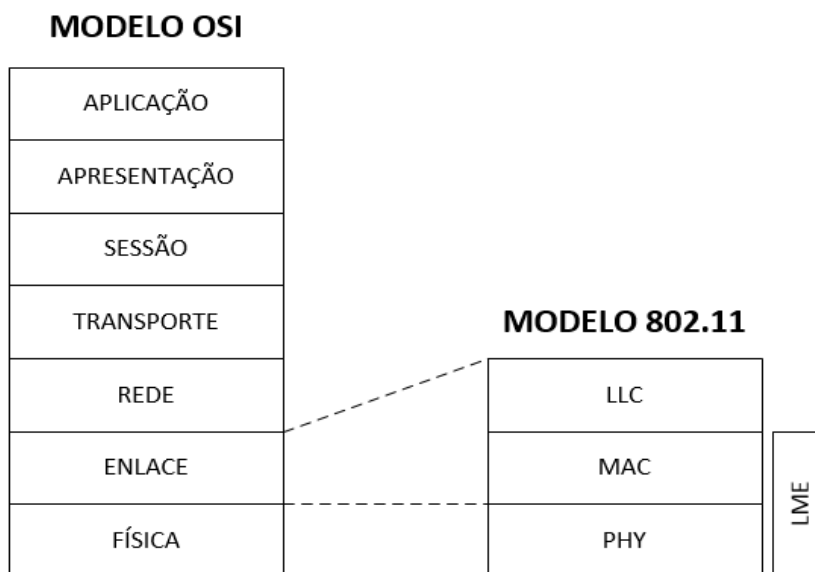
Nos testes executados neste trabalho, Capítulo 3 e 4, tem-se níveis de sinais (RSSI) menores que o demonstrado no cálculo anterior ainda que em menores distâncias, justamente por haver fatores de interferências, obstáculos, orientação e posição do dispositivo que influenciam diretamente a RSSI no dispositivo. O entendimento da unidade de medida da potência de sinal recebido foi necessário pois durante todo o trabalho muito utilizou-se a RSSI.

Outros parâmetros contidos nos sinais eletromagnéticos propagados pelos *Access Points*, podem ser utilizados em sistemas de localização interna, como o SNR e o *timestamp* (WU, BIAZ, 2011), citados neste trabalho no Capítulo 5 como trabalhos futuros.

### 2.1.5. Wi-Fi – Arquitetura do modelo 802.11

A documentação IEEE *Std.* 802.11, 2012, descreve a arquitetura do padrão 802.11 com suas camadas: PHY (*Physical Layer*), MAC (*Media Access Control*), LLC (*Logical Link Control*) e LME (*Layer Management Entity*). O entendimento da arquitetura das transmissões Wi-Fi faz-se necessário pois oferece informações dos parâmetros utilizados nas técnicas de localização apresentadas neste trabalho.

**Figura 6 – Comparação do modelo OSI x 802.11**



Fonte: IEEE, 2012.

A Figura 6, faz uma comparação entre o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) criado em 1984 pela ISO (*International Organization for Standardization*) e o modelo 802.11 criado em 1997 pelo IEEE. É importante o entendimento das camadas do modelo 802.11 bem como a comunicação entre elas, pois é neste momento que os parâmetros, como a RSSI são obtidos.

### 2.1.6. Wi-Fi – Camadas e interfaces no modelo 802.11

A MAC é uma sub-camada que tem uma função básica bem definida, receber quadros que vêm da rede, através da camada PHY, transmitindo para a LLC se este for o seu dispositivo destino. No caminho inverso, a MAC controla o momento de enviar quadros para a rede, oriundos da LLC com este propósito, neste momento sim, submetida a uma política de acesso ao meio procurando evitar emissões simultâneas entre dispositivos ao meio. Resumindo, há uma interface entre a subcamada MAC e a PHY e LCC com transmissões de primitivas passagens de quadros de dados em ambas direções (MOURA, 2007). A MAC também envia à rede duas classes de quadros além dos quadros de dados, que são os quadros de gerenciamento e quadros de controle explicados a seguir.

A LME (*Layer Management Entity*) é a entidade que faz o gerenciamento da MAC e PHY e também a interface com o usuário em um dispositivo. O usuário de um dispositivo Wi-Fi tem acesso à LME através da aplicação que faz a busca das redes *wireless* disponíveis na cobertura daquele dispositivo, ou seja, é quando o usuário busca as redes Wi-Fi disponíveis. O pedido de busca é passado a MAC, através de uma interface e depois de um intervalo de tempo, a MAC retorna a LME as redes disponíveis, com suas respectivas indicações, potência de sinal (RSSI) entre outras informações (IEEE, 2012). Estas informações serão mostradas ao usuário em seu dispositivo que fará a escolha de uma rede a qual deseja se associar, pedido repassado novamente a MAC. Os dados da LLC do dispositivo somente serão passados a MAC quando a mesma estabelecer associação a rede disponível escolhida pelo usuário através da LME, o mesmo para a direção inversa, quando a PHY transfere quadros de dados a LLC. O rastreamento das redes disponíveis, a associação e demais controles, são processos que a MAC executa através da troca dos quadros de gerenciamento (MOURA, 2007).

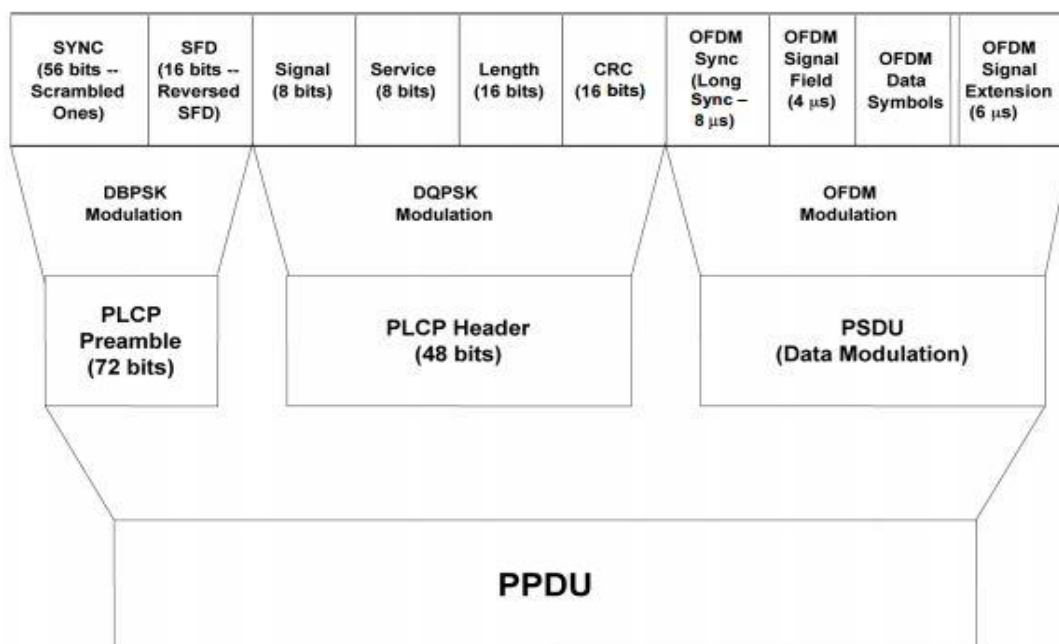
Os quadros de controle são usados no processo de controle de acesso ao meio físico, cujos detalhes contidos na documentação do modelo IEEE 802.11 não são relevantes ao desenvolvimento do sistema proposto.

A efetiva obtenção da RSSI, que tanto interessa ao escopo deste trabalho, é feita na interface da MAC com a PHY. A MAC em suas tarefas, comunica-se com a PHY na transmissão e na recepção e é nesta comunicação, com passagem de quadros de dados, que a PHY passa à MAC a informação da RSSI. No processo de controle ao acesso ao meio físico, a camada PHY fica “sentindo” o meio e ao perceber alteração de energia passa a MAC a orientação que o meio está ocupado, neste momento chega um quadro de dados, cujo cabeçalho é analisado e se não corrompido a PHY envia a MAC a informação de recebimento, juntamente com vetores de informações, dentre os quais está a RSSI daquele quadro específico (MOURA, 2007). A RSSI varia em relação a cada quadro recebido pela MAC vindo da PHY, o que explica a variação nos visores dos dispositivos, influenciada por vários fatores, como distância, interferência, obstáculos, etc....

A RSSI tem um formato dentro do quadro, que varia de acordo com o padrão utilizado, modulação, etc.... Para o padrão utilizado neste trabalho, o 802.11g, tem-se o formato de quadro (PPDU - *PHY Protocol Data Unit*) conforme demonstra a Figura 7.



**Figura 7 – Formato do quadro PHY 802.11g**



Fonte: IEEE, 2003.

Na Figura 7 nota-se o parâmetro *Signal* (RSSI), cuja informação possui um tamanho de 8 bits dentro do quadro.

Conforme explicado anteriormente, a potência do sinal recebida pelos dispositivos (RSSI) é bastante imprevisível devido a fatores como interferência, distância, obstáculos e também o *hardware* do transmissor e receptor. As medidas de RSSI irão variar de acordo com a qualidade da placa Wi-Fi dos transmissores e receptores. Não foi escopo deste trabalho, lidar com as variações de potência entre diferentes tipos e fabricantes para fins de localização, porém no Capítulo 4, alguns testes demonstram a variação da RSSI em diferentes situações de posição e movimentação dos dispositivos.

## 2.2. LOCALIZAÇÃO

Este tópico visa explicar a importância da localização na ciência, como ela foi utilizada e quais são as técnicas e tecnologias atuais utilizadas para se estimar localização em ambientes internos e externos.

### 2.2.1. História

A localização foi sem dúvida uma das atividades mais desafiadoras para o mundo científico desde muitos séculos atrás e ainda é nos dias atuais. A história da localização vem desde o uso da bússola, inventada na China, em torno de 1040 d.C (ACZEL, 2002) até os dias atuais com os aparelhos GPS (*Global Positioning System*).

O conceito de localização baseia-se em definir a posição de algo em relação a um espaço, normalmente através de eixos transversais, que geograficamente chamamos de coordenadas. As grandes navegações do século XVII e XVIII foram se desenvolvendo a medida que os sistemas de localização evoluíam (ACZEL, 2002). A latitude, referenciada através de linhas horizontais em relação ao globo terrestre e paralelas entre si, formando ângulos entre a linha do Equador, era facilmente obtida pois era conhecida através natureza, ou seja, através das posições celestes como o sol, a lua e as estrelas. Portanto qualquer marinheiro da época podia saber em que latitude se encontrava, através da duração do dia, altura do sol ou pelas estrelas no céu, diferente da longitude, cujas linhas verticais no globo terrestre não são paralelas.

A longitude foi considerada um dos maiores desafios científico do período até o século XVIII. Após a proposta do parlamento inglês em um famoso ato (Longitude Act – 1714), da mais alta remuneração já oferecida para um desafio científico, vários gênios da época se propuseram a resolver o problema da longitude, como Galileu Galilei, Jean Dominique Cassini, Christiaan Huygens, Isaac Newton e Edmond Halley. Porém foi um relojoeiro inglês, John Harrison, considerado gênio da mecânica e pioneiro na ciência do relógio de precisão portátil, que trouxe a solução para o caso da longitude, dedicando sua vida à produção do que Isaac Newton achava impossível: um relógio que pudesse funcionar no mar registrando a hora real e precisa de pontos de origem e destino ininterruptamente. A ideia era bem simples para os cálculos da longitude, marcando a hora de saída e de chegada no destino, assim calculando a longitude, porém o desafio que perdurou até o século XVIII foi o que resolveu os grandes prejuízos das grandes navegações da época (SOBEL, 2008).

Esta história, apesar de fugir do propósito deste trabalho, além de muito interessante e de recomendada leitura, demonstra claramente a importância da localização durante tantos anos, o que não é diferente nos dias atuais. Evoluiu-se muito sobre o assunto, onde possui-se para a localização em ambientes externos o sistema GPS.

### 2.2.2. Localização em ambientes externos

A localização em ambientes externos é dominada pelo sistema americano GPS (*Global Positioning System*), mas também possui outros representantes como o sistema russo GLONASS (*Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya* ou *Global Navigation Satellite System*) que está operando com cobertura global desde outubro de 2011. O presidente do sistema russo Aleksandr Gurko, afirma que hoje, o GLONASS é único sistema alternativo ao GPS, mas o cenário pode mudar em três ou quatro anos, pois o sistema chinês BeiDou e o europeu Galileo vem para complementar o GPS e o GLONASS em nível global (GAZETA RUSSA, 2014).

Localização em ambientes externos é caracterizada como tal, justamente por possuir condições específicas, como de não possuir obstáculos para efetivar a localização de determinado objeto. Os sistemas citados acima, trabalham com sinais de satélite como sendo as referências para localização, e a força do sinal não é capaz de quebrar as barreiras impostas pelos ambientes internos, por isso diferencia-se localização em ambientes internos e externos.

### 2.2.3. Sistema GPS

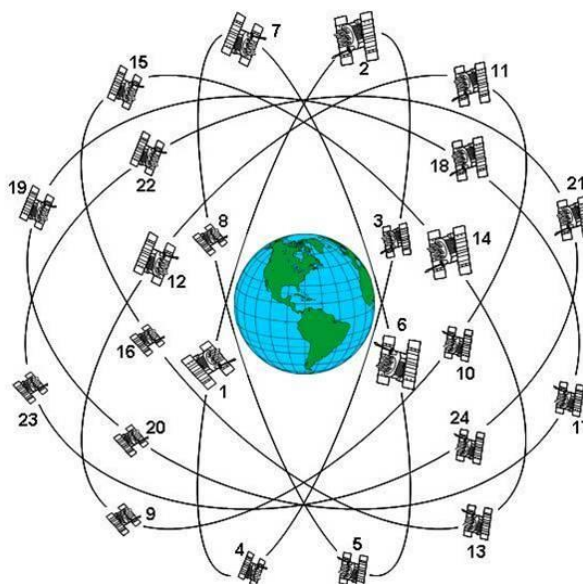
O sistema GPS, ou também chamado NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time And Ranging – Global Positioning System*), é um sistema de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a princípio com finalidades militares para auxiliar nas navegações das forças armadas americanas. Mais tarde, devido ao grande sucesso do sistema, fato atribuído pela sua precisa acurácia, foi difundido em segmentos civis, como navegação civil, agricultura, controle de frotas, etc.... e hoje está presente através de pequenos aparelhos nos veículos com eficaz poder de localização (MÔNICO, 2000).

Como o nome já diz, o GPS, tem uma abrangência global, justamente por utilizar satélites para estimar localização. A concepção de um sistema GPS permite que um usuário, em qualquer localização da superfície terrestre, tenha a sua disposição no mínimo quatro satélites como referência para serem rastreados pelos dispositivos que possuam GPS. O número quatro se determinou devido a necessidade de três medidas entre usuário e satélites em planos diferentes para determinar a posição, e um quarto satélite para determinar a altura em relação ao nível do mar (MÔNICO, 2000).

Os cálculos feitos pelo sistema GPS para determinar localização são bastante complexos, mas o conceito utilizado é relativamente simples. Os satélites, assim como os

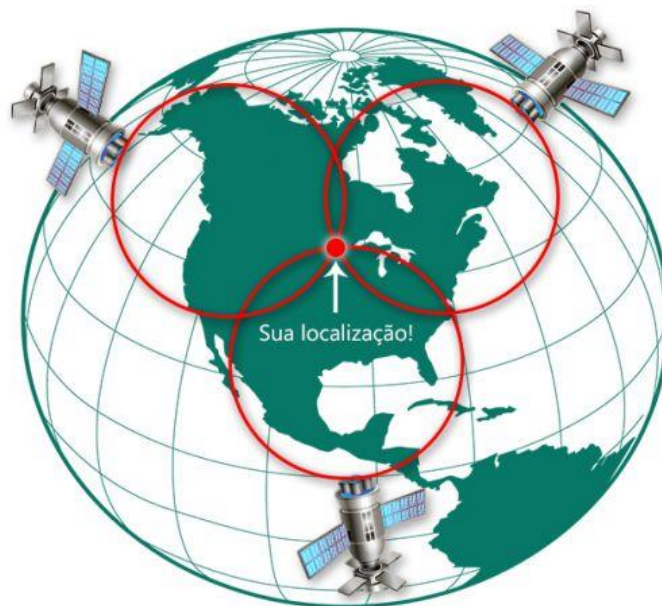
aparelhos GPS, possuem um relógio interno que marca as horas com extrema precisão (nano segundos). O satélite GPS ao enviar o sinal aos dispositivos, também envia o horário exato de envio, que viaja na velocidade da luz (300 mil quilômetros por segundo no vácuo). Com esta informação o tempo total de chegada é cronometrado e o receptor consegue calcular a que distância você está, e com três satélites como referência, é possível determinar a posição do receptor e manter sempre atualizada pois as posições dos satélites sempre estão atualizadas (FIGUEIRÊDO, 2005). O sistema americano, conta com 24 satélites ativos, denominado Segmento Espacial, como ilustra a Figura 8.

**Figura 8 – Segmento Espacial Satélites GPS**



Fonte: MÔNICO, 2000.

Como citado anteriormente, a forma com que o GPS calcula as distâncias e faz a localização é denominada triangulação. Esta é uma técnica de localização utilizada pelo sistema GPS e também utilizada em ambientes internos, sendo citada posteriormente neste trabalho. Uma breve explicação sobre esta técnica é que através de circunferências traçadas e com os raios destas circunferências calculadas pelo sistema em três satélites, a localização do receptor GPS será no ponto de intersecção entre estas três circunferências, como demonstra a Figura 9.

**Figura 9 – Triangulação em GPS**

Fonte: HOWSTUFFWORKS, 2014.

#### **2.2.4. Localização em ambientes internos**

O foco deste trabalho concentra-se neste tipo de localização, a localização em ambientes internos. Esta se caracteriza e se diferencia pelos fatores específicos que a compõe, como a presença de obstáculos, por ser em ambientes fechados, fatores de interferência externa entre outros. Portanto a técnica de triangulação utilizando recepção de satélites não é utilizada neste caso, pois como comentado anteriormente, os sinais de satélite não possuem características físicas que as façam superar os obstáculos, assim não podendo ser utilizada como referência para estimar localização. Esta mesma técnica é utilizada em ambientes internos, através de outras fontes emissoras de sinais eletromagnéticos, como por exemplo RFID, Bluetooth, ZigBee, Telefonia Celular, Infravermelho e a utilizada neste trabalho, Wi-Fi.

Várias iniciativas vêm propondo sistemas de localização em ambientes internos cada vez mais modernos e precisos, inclusive nas grandes empresas de tecnologia do mundo. A Apple, gigante no mundo da tecnologia, em 2013 comprou o sistema Wi-Fi Slam, que permite a localização de dispositivos em ambientes internos através das redes Wi-Fi disponíveis em locais fechados (WALL STREET JOURNAL, 2013). A Google desde 2011, já tem integrado em seu famoso Google Maps a funcionalidade de navegação *indoor* para ambientes públicos,

como shoppings, aeroportos, museus e estádios de futebol. Neste ano de 2014, com o principal evento esportivo do mundo, a Copa do Mundo ocorrendo aqui no Brasil, a Google lançou em sua versão 6.0 o *Google Maps Indoor*, onde os usuários puderam baixar os mapas dos estádios em seus dispositivos e utilizar o aplicativo para se locomoverem dentro dos estádios (TECHTUDO, 2014). Outras grandes empresas de tecnologia, como a Cisco, Nokia e Microsoft a anos já vem investindo neste tipo de serviço.

A Microsoft foi pioneira neste segmento, com o sistema RADAR (BAHL; PADMANABHAN, 2000) que até hoje é referência base nas pesquisas sobre o assunto. Empresas menos conhecidas, porém não menos competentes, também colaboram de forma muito eficaz com as pesquisas e desenvolvimento de sistemas de localização em ambientes internos, como é o caso do Ubee.in. Esta aplicação, de origem brasileira, foi considerada a quarta mais precisa do mundo na IPSN 2014 (*Information Processing in Sensor Networks*), realizada em Berlin na Alemanha em abril de 2014. A IPSN é uma conferência internacional sobre pesquisas e desenvolvimentos relacionados a rede de sensores (MICROSOFT, 2014).

Portanto, apesar de não estar difundido como o GPS, as aplicações para localização em ambientes internos, vem sofrendo grande modernização através do aprimoramento das principais técnicas utilizadas para esta finalidade.

### **2.2.5. Técnicas de Localização**

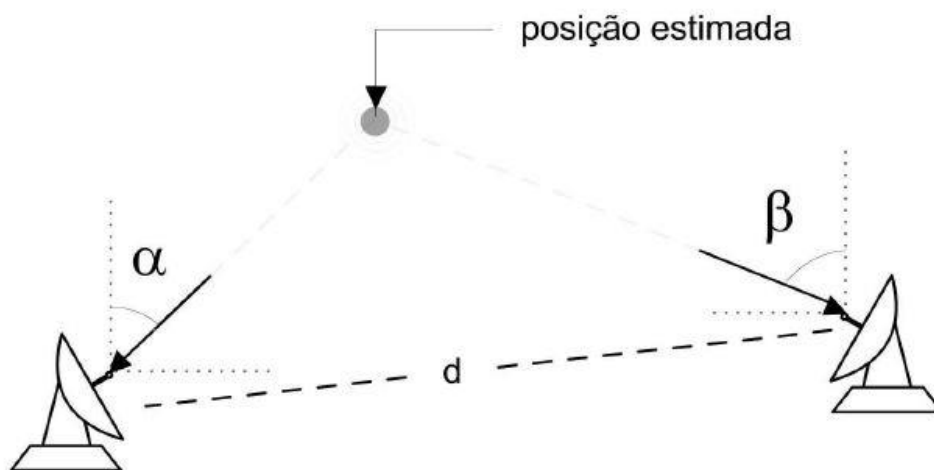
Ainda que não haja um sistema totalmente difundido para localização em ambientes internos, assim como é o GPS para ambientes externos, existem várias técnicas para localização em ambientes internos, cada uma com vantagens e desvantagens dependendo também das tecnologias utilizadas. A tecnologia explorada neste trabalho, como citado anteriormente, é a Wi-Fi, justamente por possuir uma ampla infraestrutura já instalada em ambientes públicos e disponível para uso como referência nas técnicas de localização sem que haja necessidade de alterações e implementações na infraestrutura deste tipo rede.

#### **Triangulação:**

A maioria dos sistemas que utilizam radiofrequência para estimar localização o fazem com alguma forma de triangulação, utilizando algum tipo de informação oriunda dos sinais eletromagnéticos.

Quando se utiliza o ângulo do sinal incidente em relação a uma direção denominada orientação, temos a técnica AOA (*Angle Of Arrival*) (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001). A orientação é a direção apontada para o norte ou  $0^\circ$  graus em relação a uma direção (horizontal ou vertical) e o ângulo de incidência é o ângulo formado entre a orientação e a incidência. Portanto, com dois pontos de referência em um plano 2D, pode-se estimar localização com cálculos trigonométricos, já que se pode formar um triângulo com as informações da distância entre os pontos de referência e os ângulos formados nas incidências de sinal. Para esta técnica recomenda-se o uso de antenas direcionais, ou seja, que possuam um modelo de propagação definido em uma direção determinada, melhorando a precisão nos cálculos trigonométricos (MOURA, 2007). A Figura 10 ilustra esta técnica.

**Figura 10 – Técnica AOA (Angle Of Arrival)**

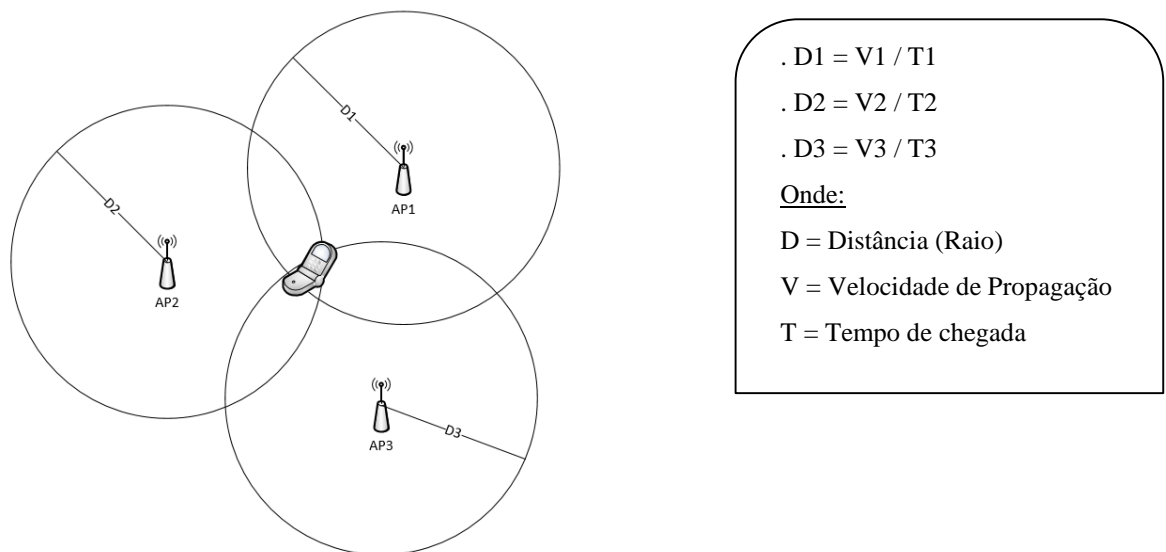


Fonte: MOURA, 2007.

A técnica ilustrada na Figura 10 foi e é utilizada por muitos sistemas de localização, porém para ambientes internos possui a desvantagem de ser falha em caso de obstáculos, pois a informação necessária para esta técnica, é justamente o ângulo do sinal incidência, portanto em caso de falhas na incidência do sinal os cálculos serão incorretos. Também há o caso em que a informação seja o ângulo de incidência de um sinal refletido, devido a um obstáculo no caminho, o que acarretaria na informação incorreta sobre a localização do objeto a ser localizado.

Outra forma de triangulação nos sistemas de localização em ambientes internos, é quando a informação é o tempo de chegada do sinal no receptor ou transmissor, técnica denominada TOA (*Time Of Arrival*) (CARREFEY; STUBER, 1998). Para esta técnica, são necessários três pontos de referência que estejam dentro da cobertura do sinal da estação emissora. Esta é a técnica utilizada no sistema GPS citado anteriormente. Há a necessidade do conhecimento prévio da velocidade de propagação do sinal, para que através do tempo de partida (informação contida no sinal – *timestamp*) e o tempo de chegada, se possa calcular a distância entre transmissor e receptor. Para tanto, também faz-se necessário que os relógios entre transmissor e receptor estejam sempre sincronizados. Após o conhecimento da distância entre transmissor e receptor, esta, será o raio das circunferências simbólicas formadas ao redor dos pontos de referência e a intersecção entre elas será a posição estimada do objeto a ser localizado (MOURA, 2007). Esta técnica está ilustrada na Figura 11:

**Figura 11 – Técnica TOA (*Time Of Arrival*)**



Fonte: MOURA, 2007.

Alguns trabalhos utilizaram a técnica TOA (Figura 11), porém utilizando como informação, a RSSI, já comentada anteriormente. Para tanto, o cálculo a ser feito para obter a distância, baseia-se no método do inverso do quadrado da distância, onde a RSSI é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o emissor e o receptor (MOURA, 2007). Utilizando a RSSI nesta técnica de triangulação, tem-se alguns problemas que a tornam imprecisa, pois a



potência do sinal tem grandes variações quando submetida a ambientes com obstáculos, o que influencia nos modelos matemáticos que a compõe.

As técnicas de triangulação demonstram-se muito eficientes quando utilizadas em ambientes livres de obstáculos, onde os cálculos matemáticos, com informações deterministas (livres de interferência), tornam-se precisos. Para ambientes fechados, objetivo deste trabalho, estas técnicas não são eficazes, pelos fatores já citados anteriormente.

### **Análise de ambiente:**

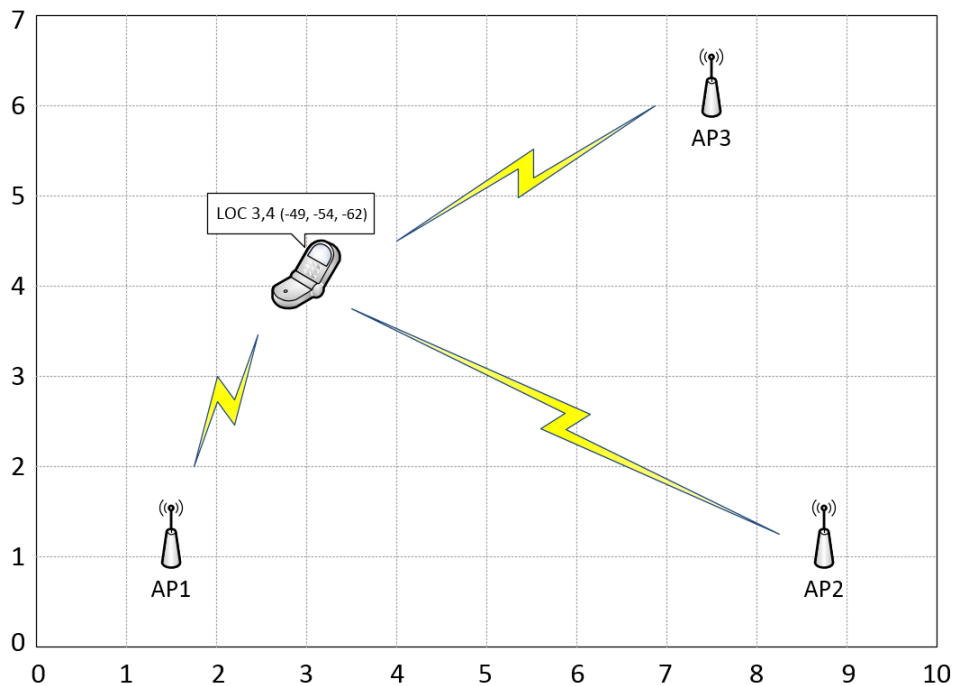
Com os problemas encontrados nas técnicas que utilizam modelos geométricos e informações livres de interferências e obstáculos, outra técnica de localização vem sendo explorada nos trabalhos atuais, que é a análise de ambiente. Esta técnica consiste em analisar o ambiente, buscando informações e parâmetros dos sinais de rádio frequência em todas as possíveis localizações formando um mapa de informações e coordenadas. Em posse deste mapa, pode-se fazer comparações entre as informações armazenadas com informações captadas em tempo real. Esta técnica, parece ser a mais coerente para utilização em ambientes internos, pois utilizaremos as próprias características deste ambiente para colaborar com informações utilizadas nas comparações que irão estimar a localização. Esta foi técnica escolhida para o desenvolvimento deste trabalho, devido sua simplicidade lógica e possibilidade de desenvolvimento modular, ou seja, possibilidade de projetar um modelo simples inicial, com uma eficácia menor, e incrementá-lo com mais informações utilizando a mesma lógica de funcionamento.

Pode-se citar como desvantagem desta técnica, a necessidade de coleta de informações no ambiente a ser praticada localização. Normalmente esta fase é feita através de processos manuais para obtenção das informações e montagem do mapa destas informações. Pode-se também citar como um desafio para esta técnica, o desenvolvimento dos algoritmos para fazer as comparações das informações armazenadas com as informações em tempo real. Alguns algoritmos são bastante simples, fazendo as comparações de forma determinista, ou seja, sem levar em consideração variações das informações, interferências e fatores externos em ambientes com propagação eletromagnética.

O sistema RADAR, citado anteriormente, utiliza esta técnica e faz de forma determinística as comparações com entre as RSSI armazenadas e em tempo real. O mapa de armazenamento basicamente constitui-se de posições mapeadas e representadas por vetores de RSSI coletadas em cada posição mapeada. As comparações são feitas pelo cálculo da distância

euclidiana entre o vetor de RSSI armazenada e o vetor de RSSI observadas em tempo real, método chamado NNSS (*Nearest Neighbor in Signal Space*), tendo como resultado a estimativa da posição do objeto a ser localizado, considerando a menor posição calculada (BAHL; PADMANABHAN, 2000). A Figura 12 ilustra o funcionamento desta técnica utilizando o mapa de armazenamento de RSSI.

**Figura 12 – Técnica de Análise de Ambiente – Mapa de RSSI**



Fonte: Elaborada pelo autor.

No caso da Figura 12, o ambiente possui três *Access Points* disponíveis, e na posição do dispositivo móvel (LOC 3,4) as RSSI armazenadas são respectivamente -49dbm para o AP1, -54dbm para o AP2 e -62dbm para o AP3. Esta coleta de potências dos sinais é chamada de *Fingerprint*. (FERRAZ et al., 2014). Percebe-se claramente que quantos mais *Access Points* disponíveis mais referências teremos, por consequência mais eficaz e precisa será a localização pois evitará a possibilidade de coincidências de sinais em locais diferentes, problema tratado no desenvolvimento modular deste trabalho.

## 2.3. Plataforma Android

Como explicado anteriormente, este trabalho utilizou redes Wi-Fi e seus parâmetros para estimar localização, porém para o desenvolvimento houve a necessidade de uma plataforma móvel para fazer interface com as redes Wi-Fi de modo que se possa captar e manipular os parâmetros destas redes sem fio afim de se obter a localização dos portadores destes dispositivos. A escolha da plataforma considerou a possibilidade de acesso a níveis baixos de *hardware* (quadros do padrão 802.11) combinada com versatilidade de manipular os parâmetros físicos dos sinais de rádio frequência.

### 2.3.1. História

A evolução dos dispositivos móveis nos dias atuais não é nenhuma novidade e está dentro do bolso de cada pessoa. O aparelho celular tornou-se imprescindível na vida de todos e vem sofrendo evoluções a cada dia que passa, motivadas pelas “necessidades” cada vez maiores dos seus usuários. Ora a necessidade é de dispositivos menores, ora de baterias mais duradouras, ora de dispositivos com visores maiores, e movidos as tendências do mercado estes dispositivos vão passando por modificações e modernizações. Hoje, os chamados *Smartphones* estão cada vez mais inteligentes, justamente por uma modificação que mudou o conceito dos antigos aparelhos celulares, a modificação do *software*.

Os aparelhos antigos chamados “tijolos”, como o pioneiro Motorola DynaTAC 8000X, comercializado pela primeira vez em 1983, que pesava pouco mais de 1Kg e permitia ligações por pouco mais de meia hora (DERCEY; CONDER, 2012), hoje dão lugar a modernos *Smartphones*, como o Galaxy S5 da fabricante Samsung. Este pequeno dispositivo móvel tem espaço para um processador Quad-Core de 2.5GHz (SAMSUNG, 2014) e diversas modernidades de *hardware*. Porém não só de *hardware* vivem estes dispositivos e a verdadeira revolução destes pequenos inteligentes foi nos *softwares* que o operam.

A gigante das buscas pela internet, Google, iniciou esta revolução em 2005, comprando a empresa Android Inc. de Andy Rubin, creditado pai da plataforma Android, além de liderar a fundação da *Open Handset Alliance* (Aliança de Aparelhos Abertos – OHA, na sigla em inglês) em 2007. Esta aliança é composta por grandes fabricantes de aparelhos e componentes de *software* e *hardware* do mundo de dispositivos móveis. Foi então, através desta aliança, que as empresas lideradas pela Google, iniciaram o desenvolvimento de uma plataforma de padrão aberto não proprietária baseada na tecnologia desenvolvida na Android Inc., a plataforma

Android. Andy Rubin hoje lidera a equipe de desenvolvimento da plataforma Android, atuando como vice presidente de Engenharia (DERCEY; CONDER, 2012).

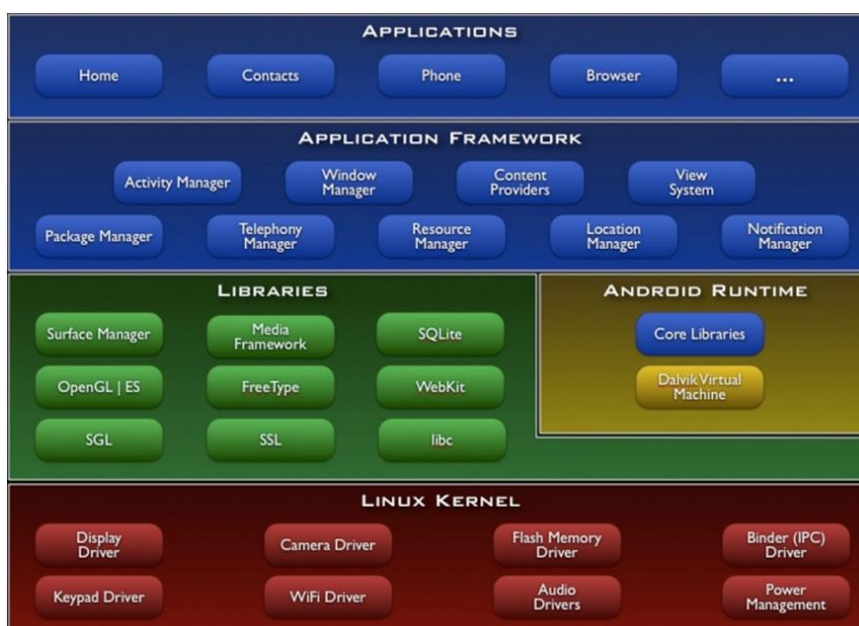
### 2.3.2. A Plataforma Aindroid

Android é uma plataforma de *software* de código aberto para uma ampla gama de dispositivos móveis (SOURCE.ANDROID, 2014). O primeiro aparelho Android lançado foi o T-Mobile G1 pela fabricante HTC em 2008. A plataforma ganhou rapidamente espaço no mercado tornando-se líder do mercado de *smartphones* em meados de 2010, deixando para trás as grandes plataformas como iOS da Apple, BlackBeery e o Windows Mobile. Segundo informações da própria Google, em 2011 mais de 200 milhões de dispositivos foram ativados com a plataforma Android (DERCEY; CONDER, 2012).

Certamente o motivo de tamanho sucesso desta plataforma foi sua flexibilidade de desenvolvimento por ser uma plataforma *open-source*. Abaixo alguns dos diferenciais e vantagens desta plataforma:

- **Gratuito e de Código Aberto:** Os desenvolvedores e fabricantes não pagam *royalties* ou taxas de licenciamento em desenvolver para a plataforma.
- **Ferramentas de desenvolvimento:** O SDK (*Software Development Kit*) do Android podem ser baixados gratuitamente através do *website* Android e utilizado para desenvolvimento.
- **Ambientes de desenvolvimento familiares:** Existem várias opções de ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). A maioria opta pelo popular e gratuito Eclipse, que possui um *plugin* Android para facilitar o desenvolvimento. O desenvolvimento pode ser feito nos sistemas operacionais Windows XP e superiores, Mac OS X 10.5.8 ou superiores e Linux.
- **Linguagem:** Os aplicativos para Android são desenvolvidos em uma das mais tradicionais e respeitadas linguagem de programação: Java.

**Figura 13 – Arquitetura da plataforma Android**



Fonte: DEVMEDIA, 2014.

Como visto na Figura 13, o Android possui *Kernel* Linux como camada de abstração do *hardware*, fato também visto como mais uma das vantagens desta plataforma (DERCEY; CONDER, 2012). Para os que se familiarizam com o sistema operacional Linux é fácil entender os motivos pelos quais o Android utiliza este *Kernel*:

- Bom gerenciamento de processos e memória.
- Modelo de segurança baseado em permissões.
- Drivers: permite aos desenvolvedores melhor interação com o *hardware*.
- Open-Source – Linux é um sistema operacional de código aberto.

### 2.3.3. Desenvolvimento Android e Linguagem Java

Existe uma literatura bastante extensa sobre o desenvolvimento para a Plataforma Android, justamente pelas vantagens citadas anteriormente. Para este trabalho, o foco foi nos componentes de desenvolvimento que interajam com o *hardware* Wi-Fi dos dispositivos móveis com Android. A linguagem utilizada é o Java, e para o desenvolvimento da aplicação de localização deste trabalho foi importante conhecer alguns fundamentos e componentes.

Java é uma linguagem de programação orientada a objeto, que diferente de outras linguagens com compilação em código nativo, é compilada para um *bytecode*, que é executado em uma máquina virtual (JVM – *Java Virtual Machine*) (JAVA, 2014). Todos dispositivos devem possuir a JVM instalada para executar os aplicativos em Java, o que pode ser feito de forma gratuita no website da plataforma.

Em linguagem de programação orientada a objetos, temos o conceito de classe, que encapsula os métodos que determinado objeto pode executar. Não foi escopo deste trabalho entrar nos detalhes dos paradigmas de orientação a objeto, mas foi necessário conhecer as bibliotecas, classes e métodos do Java, necessários para o desenvolvimento do sistema de localização proposto neste trabalho.

#### **2.3.4. API Wi-Fi para Android**

API (*Application Programming Interface*) é um conjunto de rotinas, padrões e componentes de *softwares* a serem utilizados em programação sem que haja a necessidade de entrar em detalhes do desenvolvimento, ou seja, pacotes prontos para desenvolvimento. Para este trabalho foi utilizada a API Wi-Fi (*android.net.wifi*) para Android, que possui uma série de componentes (classes e métodos) para manipular o *hardware* de rede sem fio presente nos dispositivos com Android. A API Wi-Fi fornece um meio pelo qual as aplicações podem se comunicar com o *hardware* de rede sem fio, Wi-Fi. Quase todas as informações do dispositivo estão disponíveis, incluindo a velocidade da rede conectada, endereço de IP, estado de negociação, e muito mais, além de informações sobre outras redes que estão disponíveis.

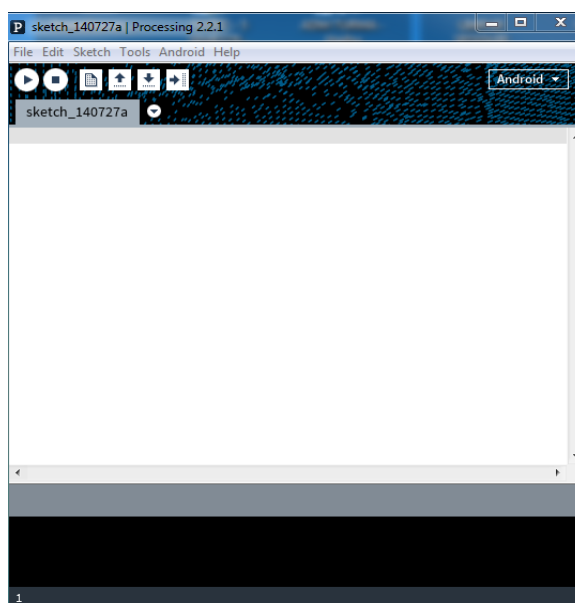
Algumas outras características da API Wi-Fi incluem a capacidade de adicionar, salvar, terminar e iniciar conexões Wi-Fi (DEVELOPER.ANDROID, 2014). Algumas classes são importantes para este trabalho, como por exemplo a *WifiManager*, *WifiInfo* e *ScanResults*. Estas classes possuem os métodos necessários para obtermos os parâmetros das redes Wi-Fi, como a RSSI, utilizados no sistema de localização proposto neste trabalho.

#### **2.3.5. Linguagem Processing**

Processing é uma linguagem de programação baseada em Java, criada em 2001 por John Maeda, no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Inicialmente tinha o objetivo de servir como um caderno de desenho de *software* para ensinar os fundamentos de programação de

computadores dentro de um contexto visual, porém o processamento evoluiu para uma ferramenta de desenvolvimento para os profissionais. Hoje, existem dezenas de milhares de estudantes, artistas, designers, pesquisadores e amadores que utilizam Processing. (PROCESSING, 2014). A Figura 14 ilustra a IDE Processing.

**Figura 14 – IDE Processing**



Fonte: PROCESSING.ORG, 2014.

O motivo desta linguagem estar presente neste trabalho, é a facilidade e simplicidade na implementação do ambiente de desenvolvimento de aplicações para Android. Como é uma linguagem baseada em Java, pode-se utilizar todas as bibliotecas citadas anteriormente para manipulação do *hardware* de rede Wi-Fi nos dispositivos com Android. Processing possui uma IDE própria (Figura 14), sem a necessidade de plug-ins específicos, sendo apenas necessário possuir instalado o kit de desenvolvimento do Android (SDK). A IDE suporta depuração por conexão USB, ou seja, compila o código desenvolvido diretamente no dispositivo Android conectado por USB ao ambiente de desenvolvimento.

Baseado em todas as pesquisas feitas, presente neste Capítulo, tem-se todas informações necessárias para o desenvolvimento de um sistema de localização interna, utilizando a técnica de análise de ambiente, demonstrado no Capítulo 3.

### 3. DESENVOLVIMENTO

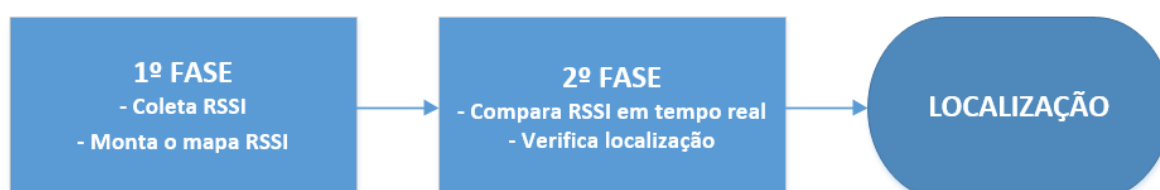
Este Capítulo visa demonstrar o desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes internos utilizando a tecnologia Wi-Fi. O desenvolvimento foi feito através de protótipos (Protótipo 1 e Protótipo 2), evoluindo a cada implementação de acordo com os problemas encontrados e oportunidades de melhoria.

#### 3.1. Técnica utilizada

Para o sistema de localização proposto neste trabalho, a técnica de localização escolhida foi a técnica de análise de ambiente, descrita no Capítulo 2. A escolha desta técnica baseia-se na possibilidade de implementação de maneira simples e incremental, ou seja, pode-se projetar um protótipo inicial com limitações, porém utilizando o conceito desta técnica de forma completa e evoluir a um novo protótipo utilizando os aprendizados do protótipo inicial.

Como descrito no Capítulo 2, a técnica de localização análise de ambiente, consiste em coletar informações do local que possua rede Wi-Fi disponível, que são os parâmetros do sinal de radiofrequência, no caso a RSSI. Em posse destas informações monta-se um mapa com as informações coletadas em suas respectivas posições do ambiente, o que corresponde a 1º fase do desenvolvimento. Após a montagem do mapa de RSSI, é feita a comparação entre as informações coletadas com as informações em tempo real, adquiridas pelo *software* desenvolvido para o dispositivo móvel que se deseja estimar a localização, o que corresponde a 2º fase do sistema. Nota-se que esta é a essência básica desta técnica e a mesma foi utilizada em todos os protótipos apresentados no desenvolvimento deste trabalho. A Figura 15 ilustra o funcionamento do sistema de forma geral.

**Figura 15 – Funcionamento geral**



Fonte: Elaborada pelo autor.



### 3.2. Protótipo 1

O Protótipo 1 possui limitações, porém tem como objetivo demonstrar a completa utilização da técnica escolhida para estimar localização, além de apontar problemas e oportunidades de melhorias, seguindo a metodologia incremental de desenvolvimento. Para o desenvolvimento do Protótipo 1, considerou-se componentes mínimos de *software* e *hardware*, premissas, limitações e objetivos, descritos a seguir.

#### 3.2.1. Componentes mínimos

O Protótipo 1 possui um conjunto de componentes mínimos para que se possa desenvolver um sistema de localização para ambientes internos, como:

##### ***Hardware:***

- 01 *Access Point* padrão IEEE 802.11g.
- 01 Dispositivo móvel (*Smartphone*) com sistema Android.

##### ***Informações:***

- Planta do ambiente a se estimar localização.
- Coleta de RSSI de todas as possíveis posições em que se deseja estimar na localização, mapeando na planta do ambiente.

##### ***Software:***

- Código implementado na linguagem Processing para a coleta de informações.
- Código implementado na linguagem Processing incluindo as informações coletadas.

A Figura 16 demonstra os dispositivos utilizados no Protótipo 1 em fotos originais tiradas dos equipamentos.

**Figura 16 – *Access Point* Zinwell Z Plus G220 e *Smartphone* Samsung Galaxy Ace Duos**



### 3.2.2. Premissas

O Protótipo 1 possui algumas premissas para o funcionamento, como:

- Necessidade do dispositivo móvel a ser localizado estar conectado à rede Wi-Fi disponível pelo *Access Point* descrito nos componentes de *hardware*. Neste caso, o código do Protótipo 1, utiliza uma classe que necessita de uma conexão ativa, entre o dispositivo e o *Access Point*, para a utilização de um método que colete a RSSI daquela conexão.

- Para fazer o mapeamento da RSSI o *Access Point* deve permanecer no mesmo local durante toda a coleta de dados, correspondente a 1º fase, e durante o funcionamento do sistema de localização implementado no dispositivo móvel, correspondente a 2º fase. Esta premissa se dá ao fato que em caso de mudança de posição do *Access Point* durante o desenvolvimento e utilização do sistema de localização, as potências de sinal (RSSI) irão variar, gerando resultados incorretos de posição.

- A coleta de dados (RSSI) deve ser feita de forma manual. Para este primeiro protótipo, tem-se a planta do ambiente onde o sistema foi testado, no caso uma residência, e em posse do dispositivo fez-se a coleta de RSSI nas posições anotando-as em todas as posições em que se deseja estimar localização.

### 3.2.3. Limitações

Com o objetivo de demonstrar de maneira simples a metodologia da técnica de localização escolhida, o Protótipo 1 possui algumas limitações acerca do funcionamento:

- Para o Protótipo 1 determinou-se que a localização a ser estimada será em duas posições do ambiente proposto, no caso sendo um dos quartos e a sala desta residência. Em síntese, o dispositivo móvel com o aplicativo já instalado, informará através de mensagem de texto na tela, que se está na sala ou que se está no quarto. Estas posições estão mapeadas na planta desta residência (Figura 17).

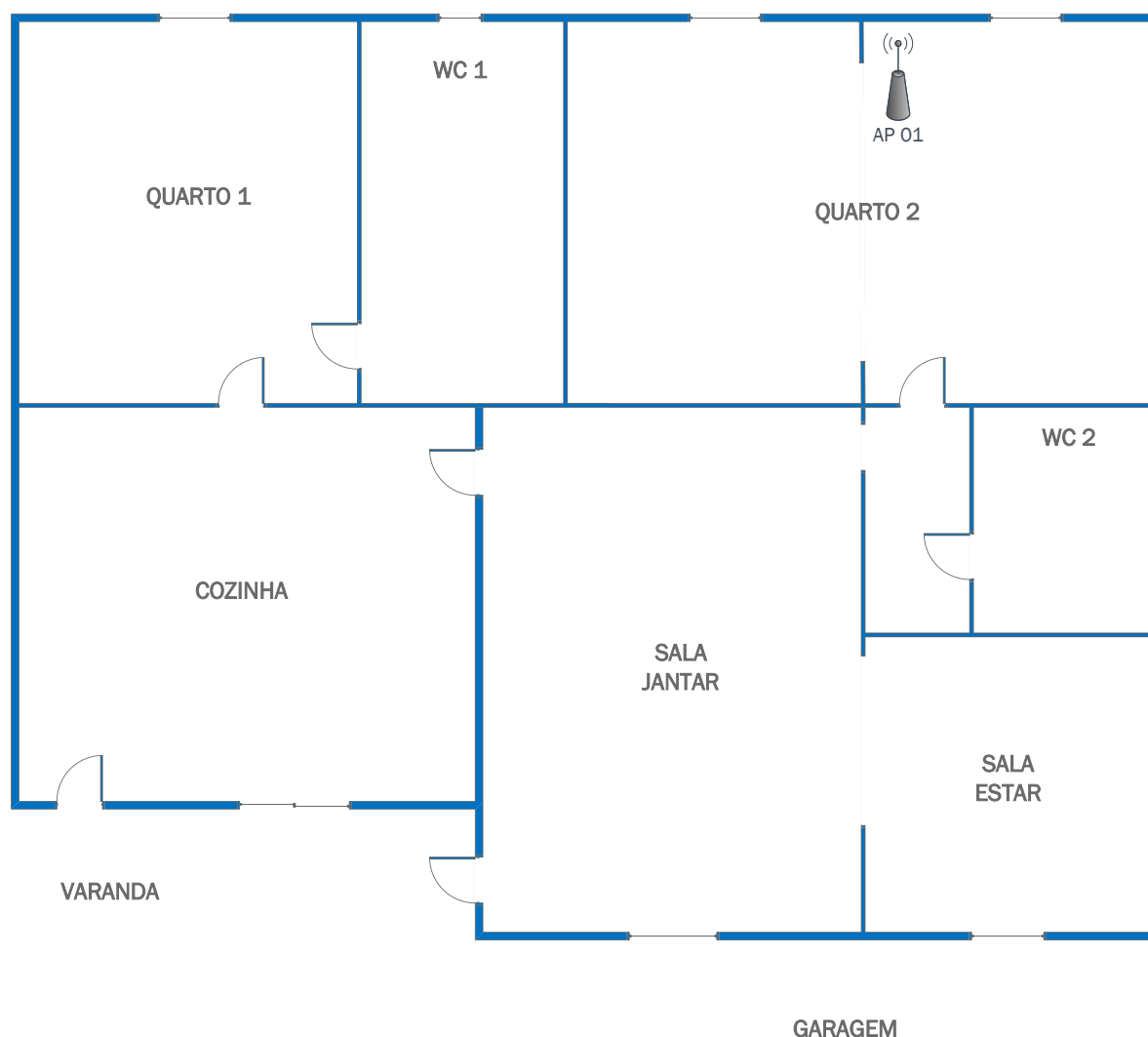
- No Protótipo 1, o código do aplicativo, não releva fatores de interferência que possam causar variação da RSSI e conseqüentemente falhas na localização, portanto não foram considerados os fatores de interferência presentes no ambiente dos testes no 1º protótipo.

### 3.2.4. Funcionamento

Conforme explicado no Capítulo 2, a técnica de análise de ambiente, escolhida para este sistema de localização interno, compõe-se de duas fases: coleta de informações e comparações em tempo real estimando a localização.

**Fase de coleta:** Para esta fase, fez-se necessária a planta da residência, para executar a coleta das RSSI nos pontos onde deseja-se estimar localização. A atividade desta fase, baseia-se em utilizar o aplicativo que chamou-se de COLETA\_WIFI\_V1, no dispositivo móvel escolhido, anotando todos os valores de RSSI nos pontos pré-determinados. Os pontos escolhidos foram o quarto 2 e a sala de jantar desta residência, sendo que o *Access Point* (AP 01) utilizado, sempre permaneceu na mesma posição, também no quarto 2. A Figura 17 ilustra a planta da residência.

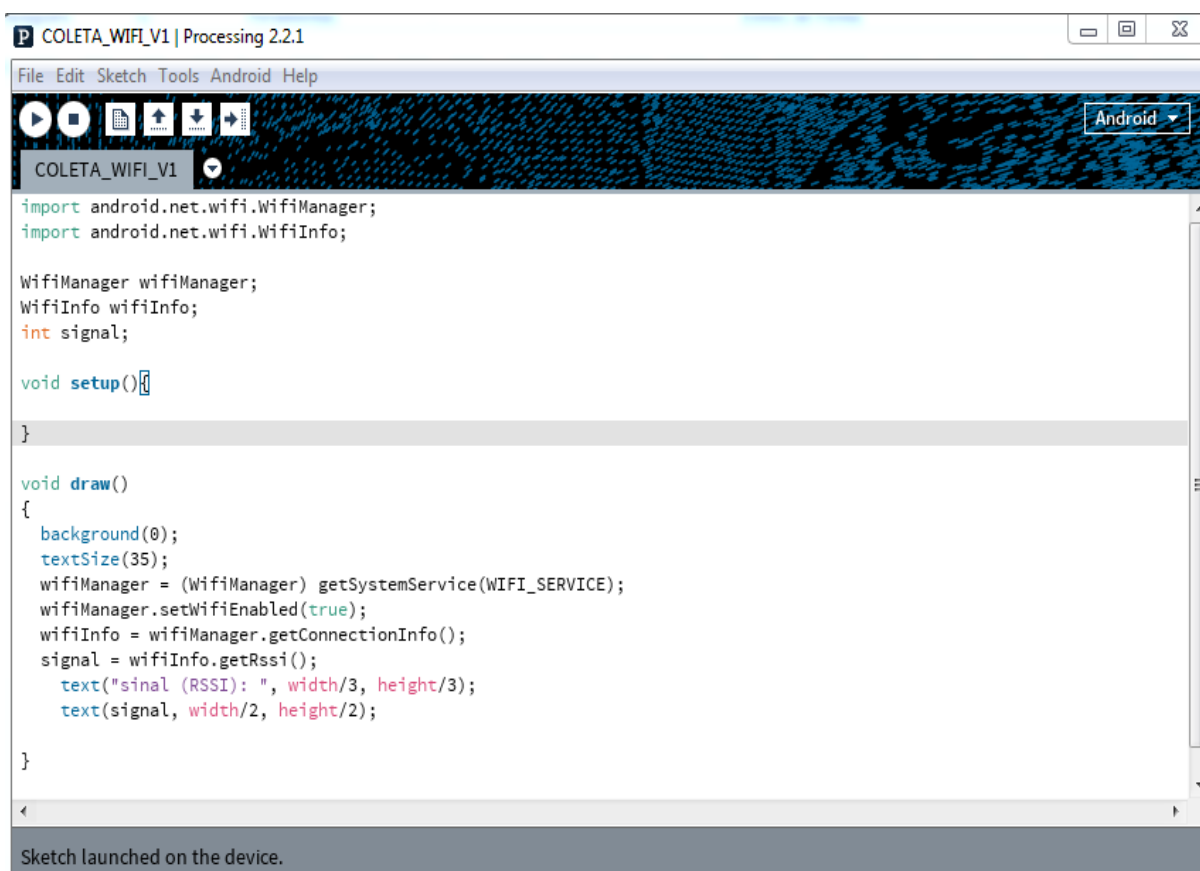
**Figura 17 – Planta da residência**



Conforme explicado nas premissas deste protótipo, a coleta das informações (RSSI) é feita de forma manual (anotações) e para tanto utilizou-se o aplicativo desenvolvido COLETA\_WIFI\_V1 que funciona como um medidor de sinal Wi-Fi em tempo real. Preferiu-se desenvolver este aplicativo, ao invés de utilizar outras formas possíveis de medições de sinal, justamente para já na fase da coleta utilizar a linguagem Processing e a API Wi-Fi gerando resultados de coleta e em tempo real os mais próximos possíveis tratando-se da mesma linguagem e API de desenvolvimento.

O código do COLETA\_WIFI\_V1 basicamente utiliza a API Wi-Fi do Android para obter a RSSI e mostrar na tela do dispositivo em tempo real à medida que se movimentava pelo ambiente ao qual o dispositivo móvel está conectado ao *Access Point*. Lembrando que, conforme explicado nas premissas deste protótipo, o dispositivo móvel deve estar conectado ao *Access Point*, portanto deve estar dentro do raio de alcance do mesmo, o que acontece em todos os cômodos da residência. A Figura 18 demonstra o código do COLETA\_WIFI\_V1 na IDE da linguagem Processing.

**Figura 18 – Código do COLETA\_WIFI\_V1**



```
COLETA_WIFI_V1 | Processing 2.2.1
File Edit Sketch Tools Android Help
COLETA_WIFI_V1
import android.net.wifi.WifiManager;
import android.net.wifi.WifiInfo;

WifiManager wifiManager;
WifiInfo wifiInfo;
int signal;

void setup()
{
}

void draw()
{
  background(0);
  textSize(35);
  wifiManager = (WifiManager) getSystemService(WIFI_SERVICE);
  wifiManager.setWifiEnabled(true);
  wifiInfo = wifiManager.getConnectionInfo();
  signal = wifiInfo.getRssi();
  text("sinal (RSSI): ", width/3, height/3);
  text(signal, width/2, height/2);
}

Sketch launched on the device.
```

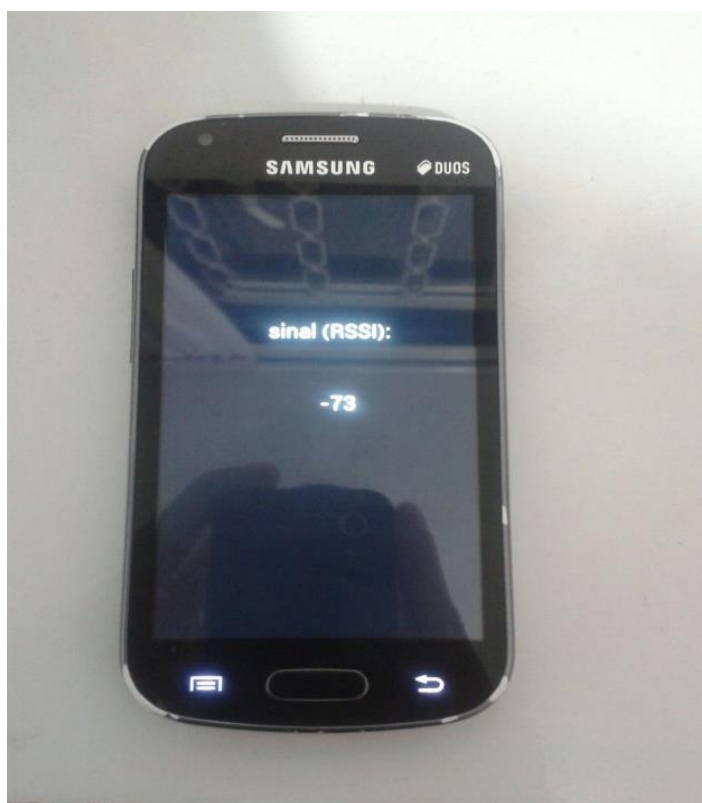
O código do COLETA\_WIFI\_V1, na Figura 18, utiliza duas classes da API WIFI do Android.

A classe `WifiManager` fornece a gerência de todos os aspectos Wi-Fi, criando uma “sessão” com o driver Wi-Fi do dispositivo (DEVELOPER.ANDROID, 2014). Criou-se então um objeto desta classe, `wifimanager` e uma instância `getSystemService (WIFI_SERVICE)` que disponibiliza todos os serviços através dos métodos.

A classe `WifiInfo` é responsável por fornecer o estado das conexões Wi-Fi ativas nos dispositivos através dos métodos `GET` (DEVELOPER.ANDROID, 2014). Para tanto o método `getConnectionInfo()` deve ser utilizado. Para obter a RSSI da conexão ativa, objetivo deste código, criou-se a variável do tipo inteiro, `signal` e utilizou-se o método `wifiInfo.getRssi()`. Enfim, através do comando `text` a RSSI é mostrada na tela do dispositivo em tempo real.

Com o código COLETA\_WIFI\_V1 foi possível então fazer a coleta das RSSI da planta da residência, nas posições do quarto 1 e sala de jantar. A Figura 19 demonstra o COLETA\_WIFI\_V1 em funcionamento.

**Figura 19 – COLETA\_WIFI\_V1 em funcionamento**

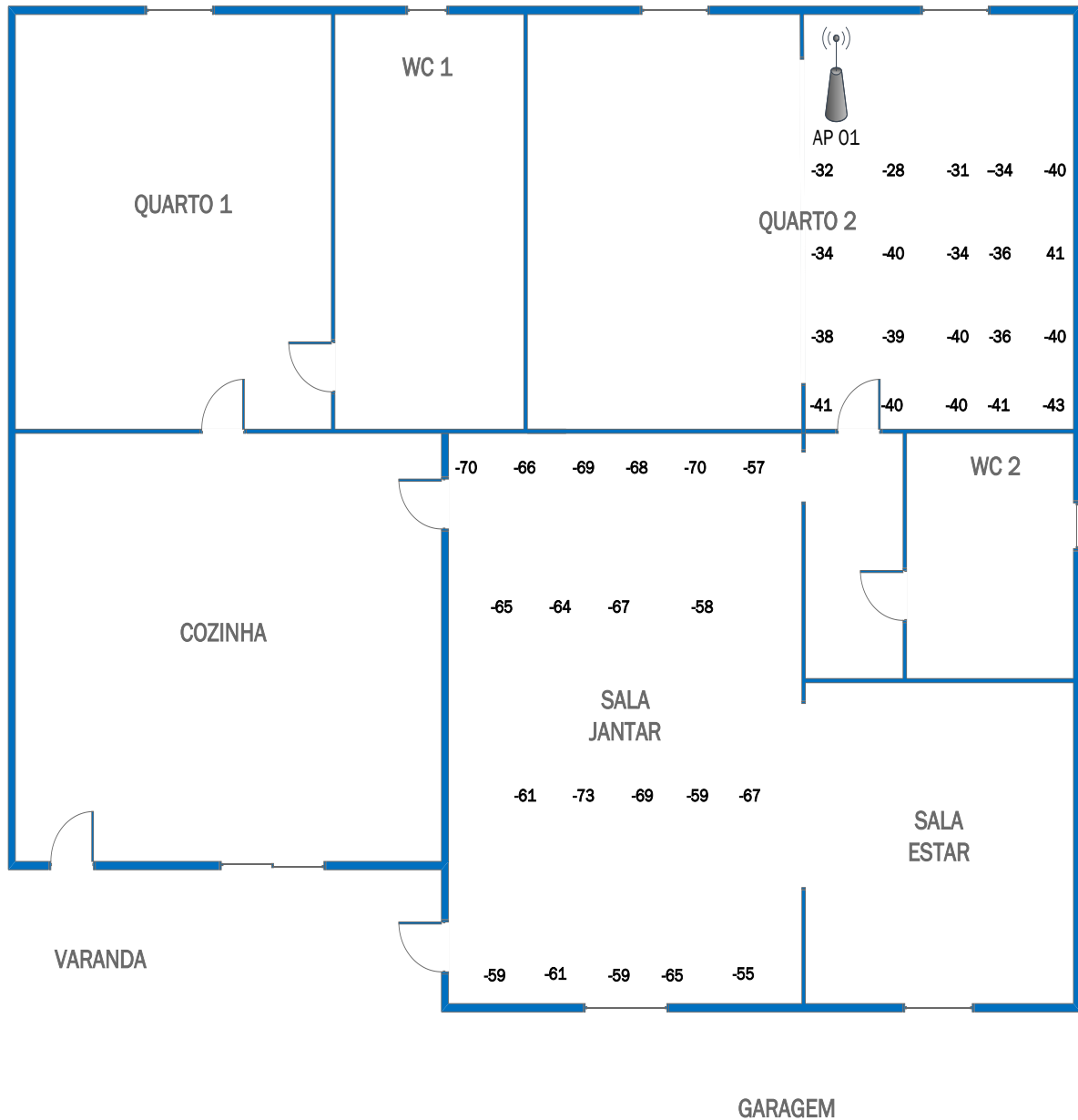


**Tabela 2 – Coleta de RSSI com COLETA\_WIFI\_V1**

POSIÇÕES	RSSI – SALA (dBm)	RSSI - QUARTO 2 (dBm)
1	-59	-41
2	-61	-40
3	-59	-40
4	-65	-41
5	-54 MAX	-43 MIN
6	-67	-40
7	-59	-36
8	-69	-40
9	-73 MIN	-39
10	-61	-38
11	-65	-34
12	-64	-40
13	-67	-34
14	-58	-36
15	-57	-41
16	-70	-40
17	-68	-34
18	-69	-31
19	-66	-28 MAX
20	-70	-32

Coletou-se 20 medidas de RSSI em posições diferentes nos dois cômodos propostos a se localizar, conforme a Tabela 2. Percebeu-se claramente que os valores de RSSI são melhores (maior potência) quando o dispositivo está no quarto 2, onde está instalado o *Access Point*. Entre as 20 medidas destacou-se os valores mínimos e máximos de cada cômodo para utilizar no código da localização em tempo real. A Figura 20 ilustra a planta da residência com os valores de RSSI anotados em seus respectivos pontos de coleta.


**Figura 20 – Planta da residência com RSSI coletadas**



**Fase de localização:** Após a fase de coleta, onde foram mapeados em 20 posições os valores de RSSI, implementou-se a fase de localização. Conforme explicado o objetivo deste primeiro protótipo foi aplicar de forma básica o fundamento da técnica de análise de ambiente com as premissas e limitações citadas anteriormente.

A fase de localização tem o objetivo de demonstrar, através de mensagens de texto no visor do dispositivo móvel, em qual dos cômodos uma pessoa que o carrega está, no caso citado para o Protótipo 1, no quarto 2 ou na sala de jantar da residência. Para tanto, implementou-se o código LOCALIZADOR\_WIFI\_V1, demonstrado na Figura 21.

Figura 21 – Código do LOCALIZADOR\_WIFI\_V1



```
LOCALIZADOR_WIFI_V1 | Processing 2.2.1
File Edit Sketch Tools Android Help
LOCALIZADOR_WIFI_V1
import android.net.wifi.WifiManager;
import android.net.wifi.WifiInfo;

WifiManager wifiManager;
WifiInfo wifiInfo;
int signal;

void setup(){
}

void draw()
{
  background(0);
  textSize(35);
  wifiManager = (WifiManager) getSystemService(WIFI_SERVICE);
  wifiManager.setWifiEnabled(true);
  wifiInfo = wifiManager.getConnectionInfo();
  signal = wifiInfo.getRssi();

  if ((signal < -54) && (signal > -73)){
    text("você está na sala", width/5, height/5);
  }

  else if ((signal < -28) && (signal > -43))
  {
    text("você está no quarto", width/5, height/5);
  }
}

Sketch launched on the device.
```

O código do LOCALIZADOR\_WIFI\_V1 basicamente utiliza as mesmas classes do código COLETA\_WIFI\_V1 (Figura 18), pois necessita obter a RSSI em tempo real para estimar a localização. Como o escopo do Protótipo 1 está em dois cômodos da residência, o código possui 2 sentenças de condições (`if` e `else if`). São estas duas condições que informam em qual dos cômodos o portador do dispositivo móvel se encontra.

Baseado nas medições feitas na fase de coleta, implementou-se uma faixa de variação de RSSI para cada condição. Quando o dispositivo possui RSSI medida em tempo real na faixa de -54dbm a -73dbm o aplicativo informa ao usuário: “você está na sala”. Quando o dispositivo possui RSSI na faixa de -28dbm a -43dbm o aplicativo informa ao usuário: “você está no quarto”. Neste protótipo, quando a RSSI não está em nenhuma das condições do código LOCALIZADOR\_WIFI\_V1, o aplicativo não mostra nenhuma informação na tela, o que já era esperado no Protótipo 1.



Para os testes do aplicativo LOCALIZADOR\_WIFI\_V1 do Protótipo 1, caminhou-se entre a sala de jantar e o quarto 2 da residência em várias posições destes cômodos. Houve momentos em que o aplicativo não mostrou nenhuma informação na tela do dispositivo, mas na maioria das posições dos cômodos o mesmo informou ao usuário em que cômodo encontrava-se. As Figuras 22 e 23 demonstram o dispositivo nos cômodos da residência.

**Figura 22 – Dispositivo na sala de jantar**



**Figura 23 – Dispositivo no quarto 2**

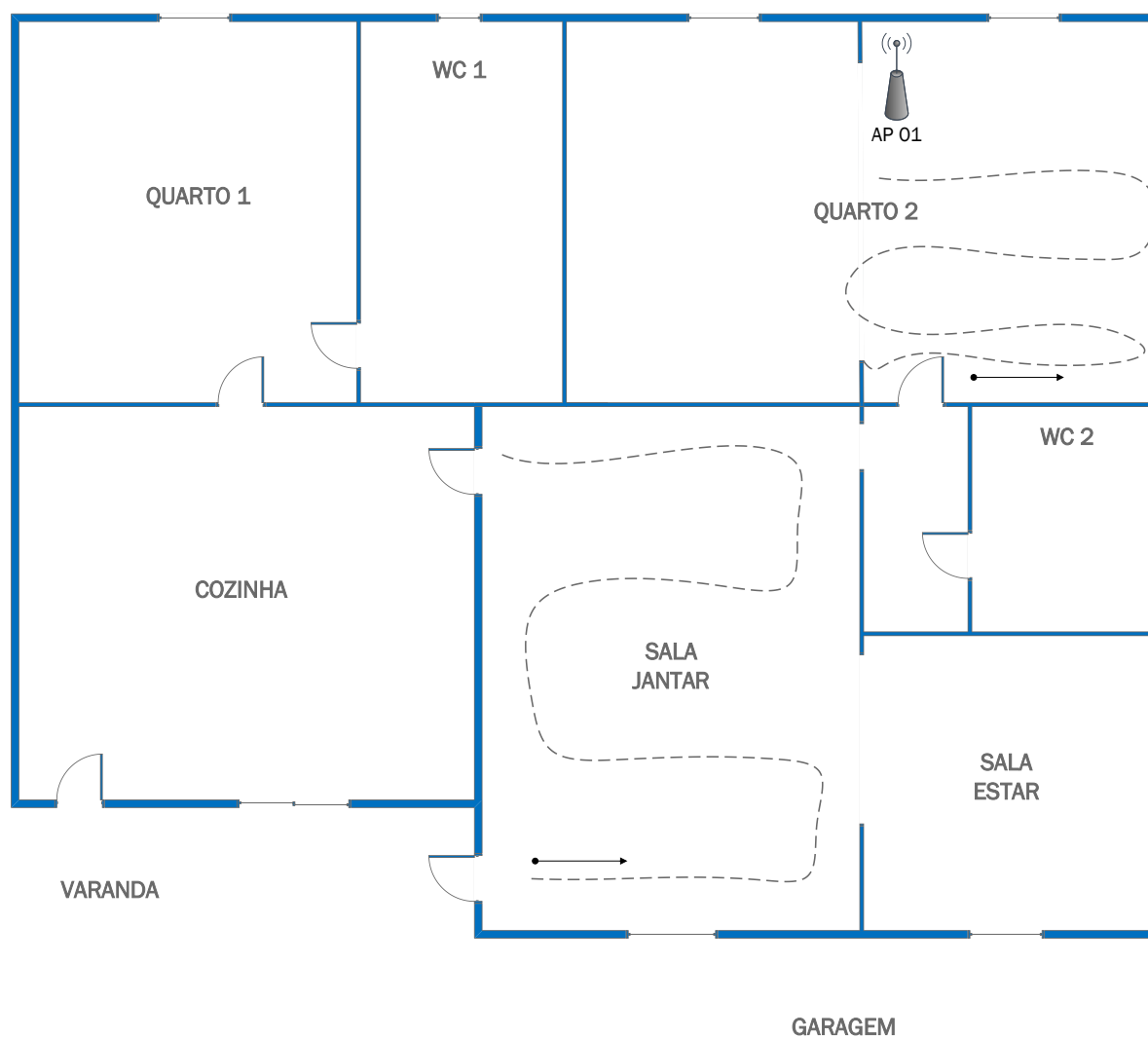


### 3.2.5. Testes e Resultados

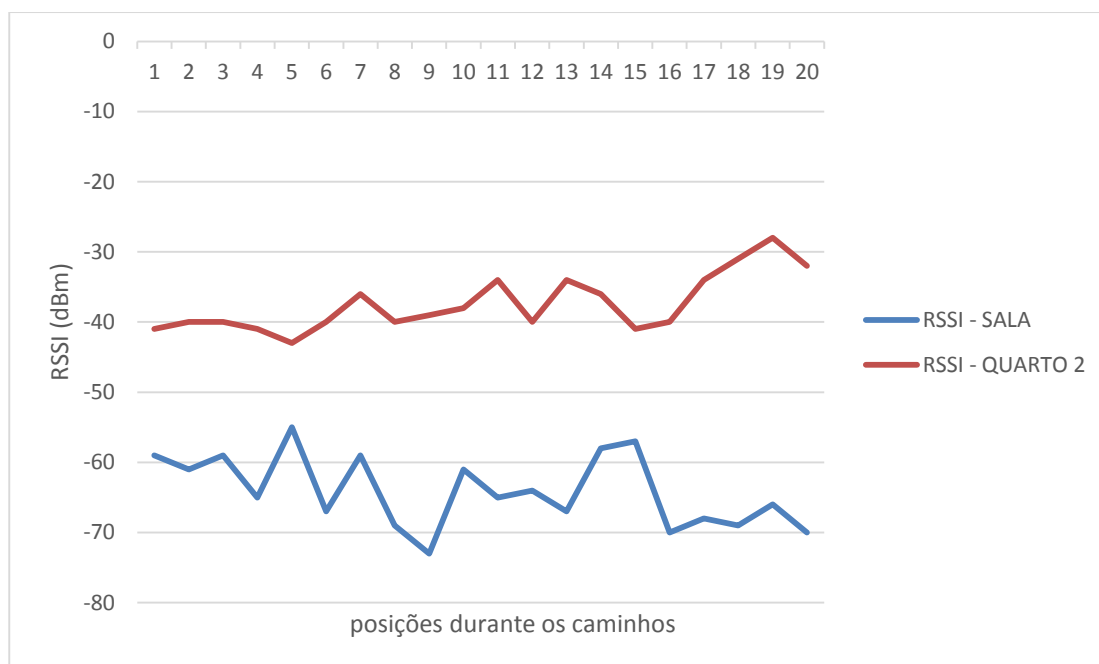
O Protótipo 1 teve o objetivo de demonstrar de maneira básica o funcionamento da técnica de análise de ambiente e por consequência problemas encontrados. Além das premissas e limitações, foi possível notar algumas falhas.

Com apenas um *Access Point* instalado, o sistema possui apenas um referencial para a coleta de informações. A RSSI em muitos pontos repete-se, o que impacta a precisão do sistema, que no caso do Protótipo 1, somente foi possível estimar a localização em 2 cômodos, onde as variações de RSSI são claramente distintas. A Figura 24 demonstra o caminho percorrido com o dispositivo móvel em mãos nos dois cômodos.

**Figura 24 – Caminhos percorridos na coleta de RSSI**



**Figura 25 – Gráfico de variação da RSSI nos caminhos percorridos**



O gráfico na Figura 25 demonstra que em nenhum momento os valores de RSSI se cruzam (repetem), pois na sala de jantar o dispositivo móvel não possui visada direta ao *Access Point* ao contrário no quarto 2, que em todo percurso o dispositivo possui visada direta com o AP, o que melhora consideravelmente o sinal de recepção. A variação no caminho percorrido na sala de jantar foi de 19 dbm, entre o valor máximo e mínimo da RSSI, no quarto 2 a variação foi de 15 dbm.

Notou-se que nos caminhos percorridos e nas posições marcadas nestes caminhos, o sistema demonstrou-se preciso em estimar em qual dos cômodos o dispositivo encontra-se. Alterando de forma aleatória o caminho percorrido na sala de jantar, por algumas vezes o sistema não informou em qual dos cômodos estava, o que significou valores de RSSI fora da variação coletada. O mesmo ocorreu no quarto 2, onde o sistema por algumas vezes informou que encontrava-se na sala de jantar ou mesmo não gerou nenhuma informação.

Com os resultados dos testes, conclui-se que o Protótipo 1 alcançou seu objetivo, pois utilizou de forma básica a técnica de análise de ambiente, demonstrando além das premissas e limites, as falhas e oportunidades de melhoria para os próximos protótipos. O desenvolvimento deste primeiro modelo foi de grande importância para o entendimento de forma real, da técnica utilizada e o quão desafiador é o desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes internos.

### 3.3. Protótipo 2

O Protótipo 2 tem o objetivo de trazer as oportunidades de melhoria percebidas nos testes feitos no Protótipo 1, mantendo o fundamento da técnica de localização escolhida para este trabalho, a análise de ambiente. O Protótipo 2 possui algumas diferenças nos componentes, premissas e limitações, além de demonstrar as possíveis melhorias percebidas no Protótipo 1.

#### 3.3.1. Componentes mínimos

O Protótipo 2, possui os mesmos componentes mínimos do Protótipo 1, porém foram utilizados no total três *Access Points* para o funcionamento do sistema de localização, diferente do Protótipo 1, que utilizava apenas um *Access Point* como referência para o funcionamento. Os *Access Points* adicionais, também funcionam em modo 802.11g, como citado anteriormente no *Access Point* do Protótipo 1. Os modelos estão demonstrados na Figura 26:

**Figura 26 – Access Points adicionais - TP-LINK TL-WR741N**



Para o Protótipo 2, foi utilizado o mesmo dispositivo móvel (*Smartphone* Android Samsung), onde se estimará localização. O ambiente também é o mesmo, no caso uma residência, portanto foi utilizada a mesma planta do local. As informações coletadas, foram diferentes pois neste protótipo foram utilizados três *Access Points*, desta forma houveram três referências de RSSI. Os códigos dos *softwares* do Protótipo 2 são diferentes, pois além de haver

mais de uma referência de RSSI, neste protótipo não há a necessidade do dispositivo móvel estar conectado a um dos *Access Points*.

### 3.3.2. Premissas

No Protótipo 2 não foi considerada premissa, a necessidade do dispositivo móvel estar conectado ao *Access Point*, justamente por haver mais de um *Access Point* como referência para se estimar localização. Neste caso, o código faz uma varredura das redes Wi-Fi disponíveis no ambiente e faz as comparações das informações coletadas com as informações em tempo real. Esta foi considerada a principal melhoria do Protótipo 2 com relação ao Protótipo 1, pois o propósito deste sistema de localização é que o mesmo possa ser aplicado em qualquer ambiente que possua rede Wi-Fi disponível sem a necessidade de modificações na infraestrutura presente. As demais premissas do Protótipo 1 foram mantidas, como a coleta de RSSI de forma manual com o mesmo dispositivo móvel e a permanência dos *Access Points* nos locais pré-determinados durante o funcionamento do sistema.

### 3.3.3. Limitações

Mantendo o mesmo objetivo deste trabalho, que é demonstrar de forma simples o funcionamento de um sistema de localização, utilizando a técnica de análise de ambiente, o Protótipo 2 trouxe melhorias percebidas no Protótipo 1, porém ainda limita-se em estimar localização não relevando os fatores de interferência que causam variações de RSSI.

O Protótipo 2 propôs estimar localização em todos os cômodos do ambiente utilizado no Protótipo 1 e somente dentro dos cômodos, pois neste caso houve o posicionamento externo de um dos *Access Points*.

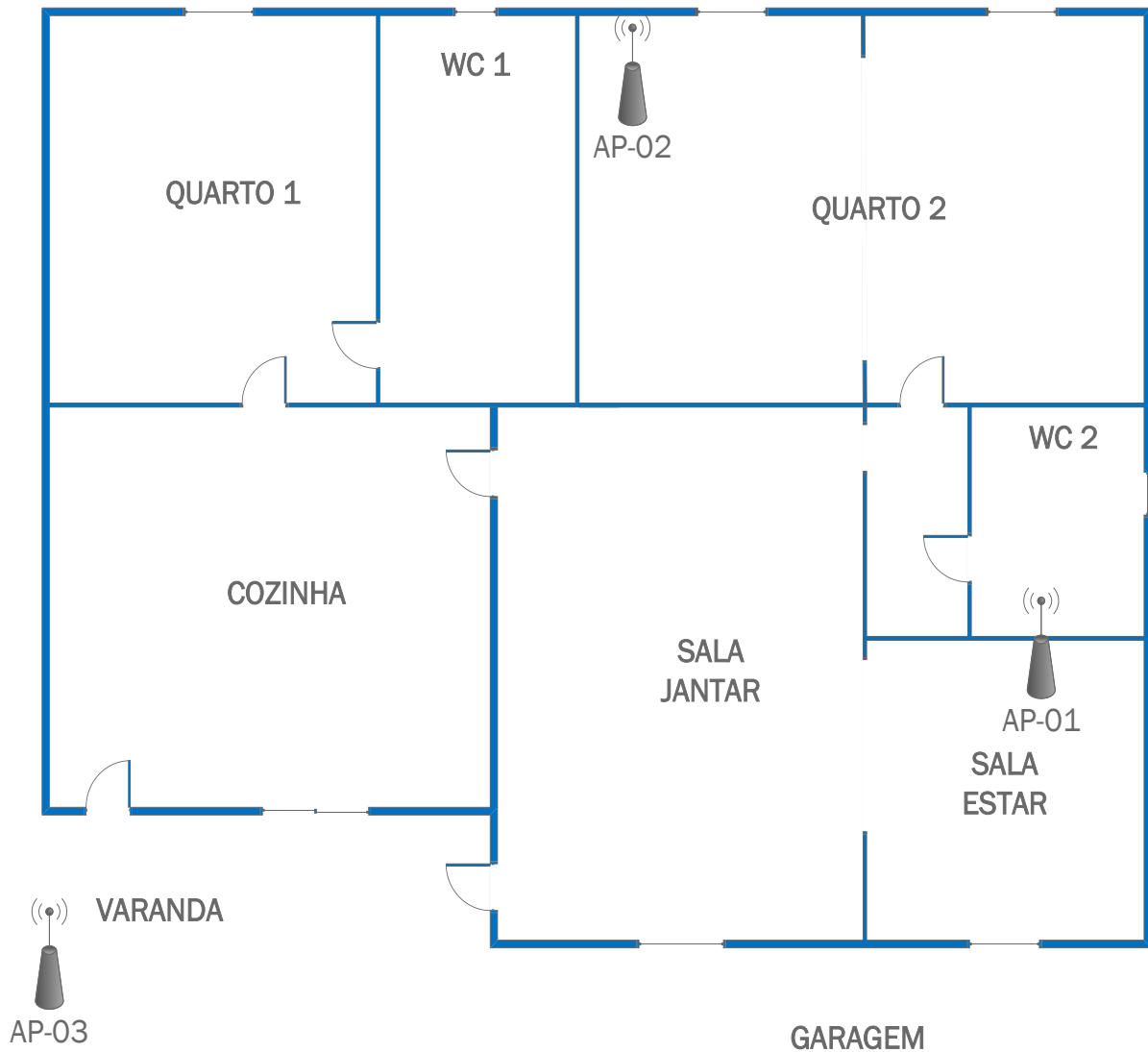
### 3.3.4. Funcionamento

O funcionamento do Protótipo 2, manteve-se com a composição de duas fases, a coleta de informações e as comparações das informações em tempo real.

**Fase de coleta:** Utilizando a planta do local, desenvolveu-se um novo código para a coleta das RSSI nos cômodos da residência. Neste caso, foram utilizados três *Access Points* como referências para se estimar localização, portanto algumas alterações foram necessárias no

aplicativo que chamou-se de COLETA\_WIFI\_V2, em relação ao COLETA\_WIFI\_V1, utilizado no Protótipo 1. A Figura 27 demonstra o posicionamento dos três *Access Points* utilizados neste protótipo.

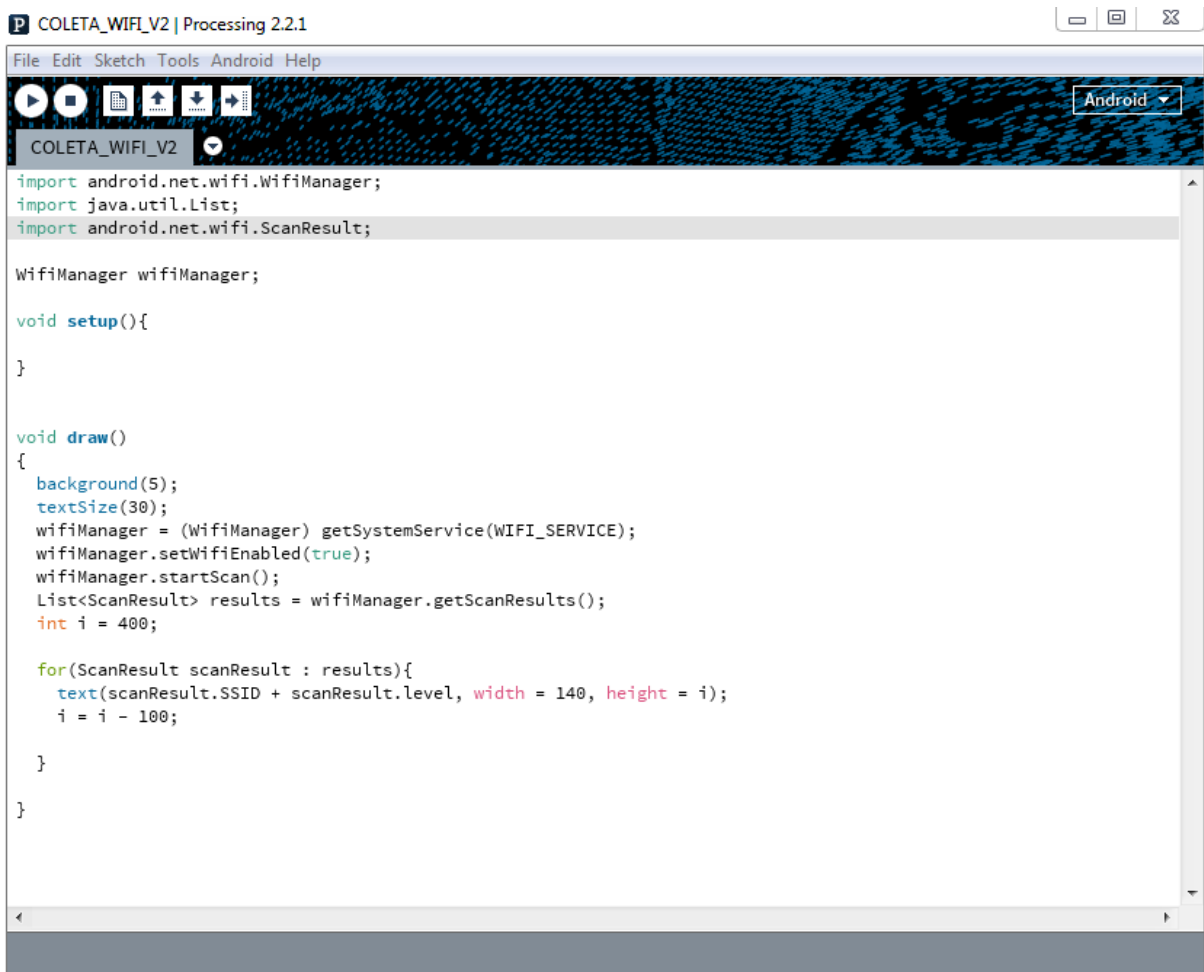
**Figura 27 – Distribuição dos Access Points na planta da residência.**



Para o Protótipo 2 os *Access Points* foram distribuídos propositalmente distantes uns aos outros justamente para evitar repetição de nível de sinal (RSSI) em alguns dos cômodos da residência. Os *Access Points* foram identificados numericamente emitindo seus nomes de rede (SSID) como AP\_01, AP\_02 e AP\_03. A coleta das informações nesta fase, é feita de forma manual, assim como no Protótipo 1, portanto identificar os SSID dos *Access Points* numericamente foi de grande importância para montar o mapa de RSSI.

A principal melhoria no Protótipo 2, está no fato em que não há necessidade do dispositivo móvel estar conectado ao *Access Point* para coletar as informações. Para tanto, o código do COLETA\_WIFI\_V2 utiliza a classe `ScanResult`, que através do método `getScanResults()`, retorna uma lista com todas as redes disponíveis no ambiente. A lista com as redes disponíveis, contém todas informações dos sinais propagados pelos *Access Points*, incluindo a informação necessária ao sistema, a RSSI, neste caso o parâmetro `scanResult.level`. Um método da classe `wifiManager` muito necessário, foi o `startScan`, pois é este o método que inicia uma varredura das redes disponíveis e uma vez dentro da função `draw()` da linguagem Processing, faz isso de forma constante. Notou-se que sem a utilização deste método as informações disponíveis obtidas com `getScanResults` seriam estáticas. A Figura 28 demonstra o código do COLETA\_WIFI\_V2.

**Figura 28 – Código do COLETA\_WIFI\_V2**



```
import android.net.wifi.WifiManager;
import java.util.List;
import android.net.wifi.ScanResult;

WifiManager wifiManager;

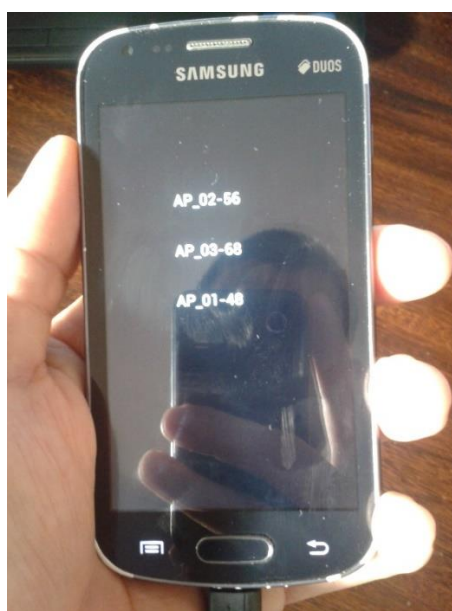
void setup(){
}

void draw()
{
  background(5);
  textSize(30);
  wifiManager = (WifiManager) getSystemService(WIFI_SERVICE);
  wifiManager.setWifiEnabled(true);
  wifiManager.startScan();
  List<ScanResult> results = wifiManager.getScanResults();
  int i = 400;

  for(ScanResult scanResult : results){
    text(scanResult.SSID + scanResult.level, width = 140, height = i);
    i = i - 100;
  }
}
```

O código COLETA\_WIFI\_V2 utiliza uma estrutura de repetição (`for`) para obter todas as redes disponíveis em uma lista, chamada no código de `results`. Esta lista conterá todas as redes disponíveis no ambiente, inclusive redes captadas além dos três Access Points propostos nos componentes mínimos deste protótipo. A importância da identificação numérica dos *Access Points* é percebida neste momento, onde ao realizar a coleta das RSSI dos *Access Points*, as referências para montagem do mapa de RSSI estão identificadas pelos SSID, obtidas por `scanResult.SSID`. Uma vez capturadas e adicionadas na lista, o código exibe na tela o SSID e RSSI destas redes. A Figura 29 demonstra do COLETA\_WIFI\_V2 em funcionamento.

**Figura 29 – Coleta RSSI no dispositivo móvel – Protótipo 2**



Com estas informações, foi possível montar o mapa de RSSI da residência onde se deseja estimar localização. A coleta, conforme já comentado, é feita de forma manual, percorrendo todos os cômodos da residência com o dispositivo em mãos, anotando as RSSI em determinadas posições destes cômodos. Foram coletadas em 90 posições em todos os cômodos da residência as potências dos sinais (RSSI) dos três *Access Points* instalados e posicionados conforme a Figura 27. Em cada um dos cômodos, foram verificadas as potências máximas e mínimas para a construção do mapa de RSSI e elaboração do código utilizado na fase de localização. O resultado da coleta de informações, gerou o mapa de RSSI demonstrado na Tabela 3.



Tabela 3 – Coleta de RSSI com COLETA\_WIFI\_V2

POSIÇÕES	AP-01	AP-02	AP-03		POSIÇÕES	AP-01	AP-02	AP-03	
1	-40	-58	-73	<b>SALA DE ESTAR</b>	46	-77	-55	-87	<b>QUARTO 2</b>
2	-42	-62	-75		47	-72	-54	-86	
3	-44	-66	-84 min		48	-82 min	-30	-85	
4	-44	-69	-82		49	-80	-32	-88	
5	-40	-56	-75		50	-68	-35	-85	
6	-39	-56 max	-72 max		51	-74	-28	-84	
7	-37	-68	-81		52	-71	-35	-86	
8	-49 min	-66	-74		53	-82	-48	-87	
9	-46	-63	-77		54	-82	-24 max	-88	
10	-33 max	-65	-73		55	-72	-34	-86	
11	-34	-72 min	-81		56	-80	-48	-89 min	
12	-44	-69	-78		57	-78 max	-53	-82 max	
13	-44	-51	-59 max	58	-77	-51	-83		
14	-50	-52	-64	59	-81	-44 max	-83		
15	-42	-49	-67	60	-82 min	-55	-84		
16	-40 max	-56 min	-71	61	-82	-52	-87 min		
17	-47	-54	-73	62	-81	-56 min	-86	<b>QUARTO 1</b>	
18	-43	-45	-76	63	-84	-64	-86		
19	-46	-57	-80	64	-80 max	-83	-75 max		
20	-41	-52	-78	65	-82	-62 max	-85		
21	-46	-47	-72	66	-86	-70	-86		
22	-40	-50	-67	67	-91 min	-67	-81		
23	-55	-45	-74	68	-84	-69	-86 min		
24	-52	-55	-82	69	-88	-77	-85		
25	-42	-54	-77	70	-89	-76	-79		
26	-47	-47	-81	71	-85	-76	-81		
27	-40	-52	-82	72	-87	-73	-80		
28	-60	-47	-84	73	-90	-78 min	-80	<b>COZINHA</b>	
29	-61	-42 max	-79	74	-88	-69	-86		
30	-62	-46	-81	75	-74	-71	-76		
31	-64	-56	-83	76	-73	-75 max	-78		
32	-65 min	-49	-85 min	77	-76	-63	-75 max		
33	-61	-63	-80 max	78	-69	-84	-75		
34	-76 min	-51 max	-84	79	-78 min	-72	-80		
35	-58	-63	-88	80	-63	-70	-80		
36	-56 max	-62	-87 min	81	-78	-68	-78		
37	-58	-67 min	-86	82	-70	-64	-81		
38	-66	-64	-83	83	-78	-66	-77		
39	-73	-64 min	-86	84	-67	-69	-84	<b>QUARTO 2</b>	
40	-69	-51	-84	85	-65	-70	-86		
41	-73	-51	-85	86	-59 max	-56 max	-81		
42	-65 max	-53	-84	87	-73	-71	-89 min		
43	-74	-52	-83 max	88	-73	-75	-76		
44	-69	-62	-85	89	-69	-66	-80		
45	-71	-58	-88	90	-60	-71	-79		

- **Fase de localização:** Após a coleta das informações, foi possível desenvolver o código para a fase de localização do Protótipo 2, que chamou-se de LOCALIZADOR\_WIFI\_V2. O objetivo do Protótipo 2, é implementar as oportunidades de melhoria detectadas no Protótipo 1, como a não necessidade do dispositivo móvel estar conectado ao Access Point, localização em maiores números de cômodos da residência e maior precisão da localização, demonstrando de maneira básica e funcional a técnica de localização escolhida para este trabalho, a análise de ambiente. A Figura 30, demonstra o código do LOCALIZADOR\_WIFI\_V2.

**Figura 30 – Código do LOCALIZADOR\_WIFI\_V2**

```
import android.net.wifi.WifiManager;
import java.util.List;
import android.net.wifi.ScanResult;

WifiManager wifiManager;

int signal_ap01;
int signal_ap02;
int signal_ap03;

String ap01 = "AP_01";
String ap02 = "AP_02";
String ap03 = "AP_03";

void setup(){
}

void draw()
{
    background(5);
    textSize(30);
    wifiManager = (WifiManager) getSystemService(WIFI_SERVICE);
    wifiManager.setWifiEnabled(true);
    wifiManager.startScan();
    List<ScanResult> results = wifiManager.getScanResults();

    for(ScanResult scanResult : results){
        if(scanResult.SSID.equals(ap01) == true){
            signal_ap01 = scanResult.level;
        }
        if(scanResult.SSID.equals(ap02) == true){
            signal_ap02 = scanResult.level;
        }
        if(scanResult.SSID.equals(ap03) == true){
            signal_ap03 = scanResult.level;
        }
    }

    if (((signal_ap01 < -33) && (signal_ap01 > -49)) && ((signal_ap02 < -56) && (signal_ap02 > -72)) && ((signal_ap03 < -72) && (signal_ap03 > -84))){
        text("você está na sala de estar", width/5, height/5);
    }

    else if (((signal_ap01 < -40) && (signal_ap01 > -65)) && ((signal_ap02 < -42) && (signal_ap02 > -56)) && ((signal_ap03 < -59) && (signal_ap03 > -85))){
        text("você está na sala de jantar", width/5, height/5);
    }

    else if (((signal_ap01 < -56) && (signal_ap01 > -76)) && ((signal_ap02 < -51) && (signal_ap02 > -67)) && ((signal_ap03 < -80) && (signal_ap03 > -87))){
        text("você está no WC 2", width/5, height/5);
    }

    else if (((signal_ap01 < -65) && (signal_ap01 > -82)) && ((signal_ap02 < -24) && (signal_ap02 > -64)) && ((signal_ap03 < -83) && (signal_ap03 > -89))){
        text("você está no quarto 2", width/5, height/5);
    }

    else if (((signal_ap01 < -78) && (signal_ap01 > -82)) && ((signal_ap02 < -44) && (signal_ap02 > -56)) && ((signal_ap03 < -82) && (signal_ap03 > -87))){
        text("você está no WC 1", width/5, height/5);
    }

    else if (((signal_ap01 < -80) && (signal_ap01 > -90)) && ((signal_ap02 < -62) && (signal_ap02 > -83)) && ((signal_ap03 < -75) && (signal_ap03 > -86))){
        text("você está no quarto 1", width/5, height/5);
    }

    else if (((signal_ap01 < -60) && (signal_ap01 > -78)) && ((signal_ap02 < -56) && (signal_ap02 > -75)) && ((signal_ap03 < -75) && (signal_ap03 > -89))){
        text("você está na cozinha", width/5, height/5);
    }
}
}
```

O código LOCALIZADOR WIFI\_V2, também utiliza a classe `ScanResult`, pois conforme explicado, o objetivo é obter as informações de todas as redes disponíveis no raio de cobertura dos *Access Points* utilizados. Para capturar as informações em tempo real, foram declaradas variáveis no código, do tipo `int` para as potências (RSSI) de cada *Access Point* e do tipo `String` para o nome das redes disponíveis, no caso, o nome dos *Access Points* utilizados, AP\_01, AP\_02 e AP\_03. Para associar a potência do sinal de determinado *Access Point* em uma das variáveis inteiras declaradas para as potências, foi usada uma estrutura de repetição (`for`) com comparações dos nomes das redes (SSID) capturadas na lista `results` com os nomes das redes conhecidas declaradas nas variáveis do tipo `String`. Uma vez garantido que a potência do sinal dos *Access Points*, são dos *Access Points* numerados (AP\_01, AP\_02 e AP\_03), iniciou-se as comparações das condições em tempo real, através das informações coletadas na fase 1 deste protótipo.

As condições comparam em todos os *Access Points*, as potências de sinal em tempo real com as potências mapeadas na fase de coleta. O aplicativo informará ao usuário do dispositivo, em qual dos cômodos ele se encontra quando for atendida uma das condições mapeadas para cada cômodo, ou seja, quando o dispositivo estiver dentro das RSSI máximas e mínimas em cada *Access Point* mapeadas em cada cômodo.

Diferente do Protótipo 1, os testes e resultados do Protótipo 2 foram demonstrados no Capítulo 4 deste trabalho.

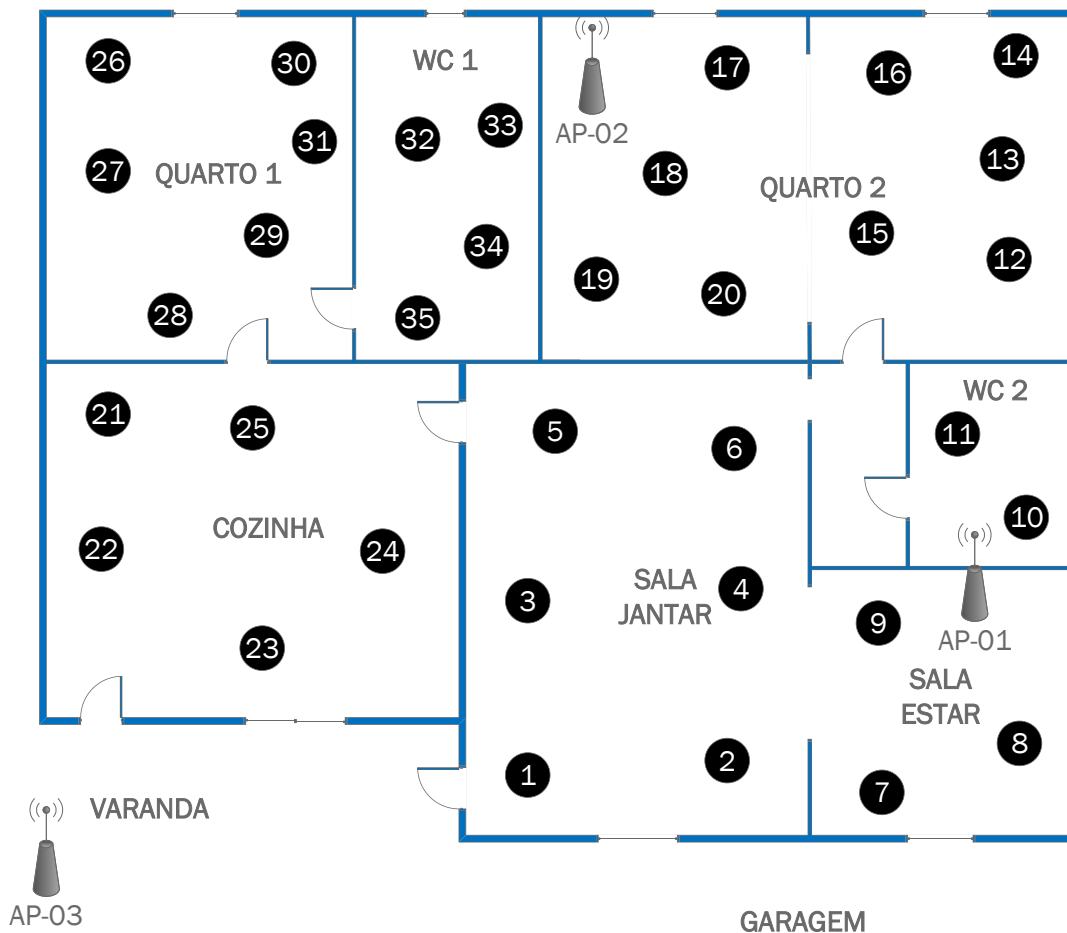
## 4. TESTES E RESULTADOS

Este Capítulo, além de demonstrar os resultados obtidos no desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, também visa demonstrar os problemas e desafios encontrados para o desenvolvimento de um sistema de localização em ambientes internos, devido as particularidades encontradas em nestes ambientes. Os seguintes testes apresentados foram todos com a utilização do Protótipo 2 deste trabalho.

### 4.1. Testes de localização

Para os testes com localização utilizando o Protótipo 2, foram determinadas 35 posições aleatórias nos cômodos da residência. Com o dispositivo móvel em mãos, caminhou-se por todas estas 35 posições marcando os resultados de localização informadas no visor do *smartphone*. A Figura 31 demonstra as 35 posições dos testes.

**Figura 31 – Posições determinadas para testes de localização**



A Tabela 4 demonstra os resultados obtidos nas 35 posições testadas com o sistema proposto no Protótipo 2.

**Tabela 4 – Resultados de teste de localização**

POSIÇÕES	LOCALIZAÇÃO INFORMADA	RESULTADO
1	SALA DE JANTAR	OK
2	SALA DE JANTAR	OK
3	SALA DE JANTAR	OK
4	SALA DE JANTAR	OK
5	SALA DE JANTAR	OK
6	SALA DE JANTAR	OK
7	SALA DE ESTAR	OK
8	SALA DE ESTAR	OK
9	SALA DE ESTAR	OK
10	WC 1	OK
11	SALA DE JANTAR	FALHA
12	WC2	FALHA
13	COZINHA	FALHA
14	QUARTO 2	OK
15	QUARTO 2	OK
16	SALA DE JANTAR	FALHA
17	QUARTO 2	OK
18	QUARTO 2	OK
19	QUARTO 2	OK
20	QUARTO 2	FALHA
21	COZINHA	OK
22	COZINHA	OK
23	SEM INFORMAÇÃO	FALHA
24	SEM INFORMAÇÃO	FALHA
25	COZINHA	OK
26	QUARTO 1	OK
27	QUARTO 1	OK
28	QUARTO 1	OK
29	QUARTO 1	OK
30	QUARTO 1	OK
31	QUARTO 1	OK
32	WC 1	OK
33	WC 1	OK
34	WC 1	OK
35	QUARTO 2	FALHA

Com as informações demonstradas na Tabela 4 foi possível notar que o sistema desenvolvido no Protótipo 2 atende as expectativas de um sistema de localização com a utilização da técnica de análise de ambientes.

**Figura 32 – Eficiência do sistema de localização**

POSIÇÕES	ACERTOS	FALHAS
35	27	8

**DESEMPENHO - EFICIÊNCIA**



A Figura 32 demonstra através de números e gráfico que a eficiência do sistema desenvolvido no Protótipo 2, foi de 77%, ou seja, teve 77% como índice de acerto referente as posições de localização na residência, o que considerou-se um bom resultado para o sistema proposto neste trabalho. Através dos testes foi possível notar alguns problemas, que chamou-se neste trabalho de desafios encontrados para um sistema de localização com a utilização de redes Wi-Fi em ambientes internos. Apesar de atingir o objetivo, em ambientes maiores e mais complexos, os desafios por consequência tendem a ser maiores.

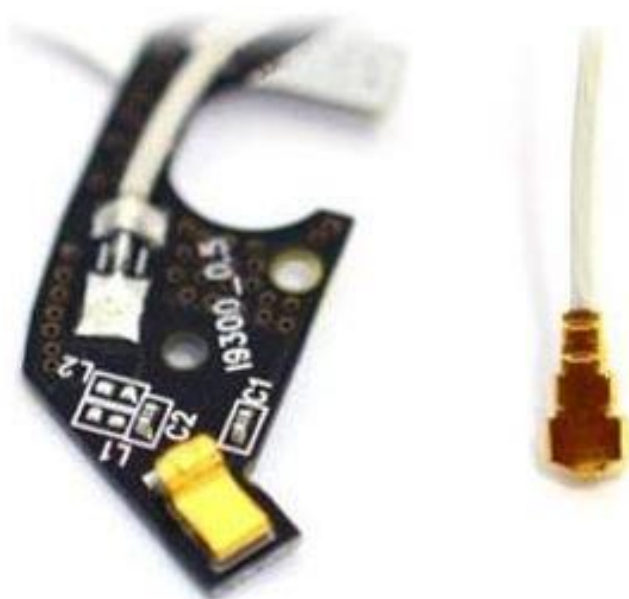
#### **4.2. Desafios encontrados**

A instabilidade da potência do sinal recebida no dispositivo móvel é o principal desafio a ser superado, ou ao menos minimizado, quando se implementa um sistema cuja matéria prima é a RSSI. Vários motivos fazem com que a RSSI no dispositivo móvel sofra instabilidade.

As antenas nos *smartphones* são do tipo microfita (em inglês, *microstrip*). Este tipo de antena é utilizado em dispositivos móveis que normalmente não dispõe de espaço para a acomodação de antenas externas. Estas antenas são na verdade trilhas nos circuitos impressos

com pequenas chapas de metal de variadas geometrias. Elas são antenas de baixo custo, fácil de manejar, com baixo consumo de energia para propagação de sinal eletromagnético e com tamanhos compatíveis as necessidades dos smartphones, porém possuem desvantagens como baixa largura de banda, baixo ganho, alta atenuação no sinal eletromagnético e altamente suscetíveis a interferências (BALANIS, 2005), o que são desvantagens significativas ao sistema proposto neste trabalho. A Figura 33 demonstra um modelo de antena microfita, no caso do Smartphone Samsung Galaxy S3 I9300.

**Figura 33 – Antena Wi-Fi Samsung Galaxy S3 I9300**



Fonte: PHONEXTREME, 2014

As desvantagens citadas, fazem com que haja instabilidade nas conexões Wi-Fi nos dispositivos móveis de acordo com a orientação e movimentação dos aparelhos. Para a navegabilidade do usuário, este fato acaba sendo imperceptível, porém para a utilização do sistema de localização proposto neste trabalho é nitidamente perceptível. Não foi encontrada documentação do fabricante com detalhes da antena utilizada no smartphone utilizado neste trabalho, porém ao realizar os testes notou-se que parte da instabilidade do sinal recebido está relacionada ao tipo de antena do aparelho.

A Figura 34 demonstra o *smartphone* utilizado neste trabalho com sua carcaça aberta, com a localização da antena do tipo microfita destacada por uma marcação.

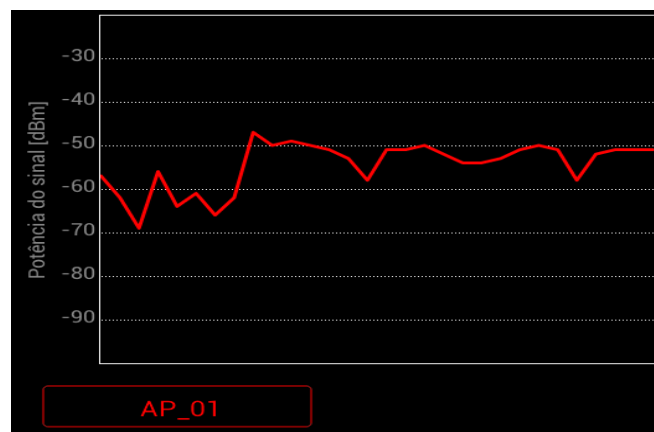
**Figura 34 – Antena Wi-Fi do Smartphone Samsung Galaxy S Duos**



Para visualizar a instabilidade da RSSI no dispositivo móvel utilizado neste trabalho, utilizou-se o *WiFi Analyzer*, um aplicativo gratuito disponível para várias plataformas móveis como o Android (GOOGLE PLAY, 2014) que demonstra através de gráficos a variação do sinal recebido pelo dispositivo além de outras funções. Para analisar a variação de sinal gerada pela movimentação do dispositivo pelos cômodos da residência, utilizou-se apenas o AP-01 como referência.

A Figura 35 demonstra a variação da RSSI com o dispositivo em mãos caminhando da Sala de Jantar até a Sala de Estar onde encontra-se instalado o AP-01. A RSSI variou entre -70dBm a -48dBm, uma variação de 22dBm.

**Figura 35 – Variação de RSSI – Sala de Jantar x Sala de Estar**

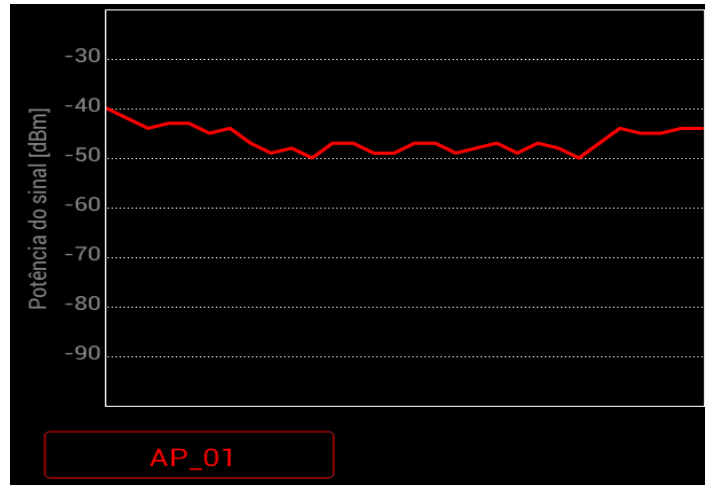


Fonte: *WiFi Analyzer*



A Figura 36 demonstra a variação da RSSI com o dispositivo em mãos, porém estático na Sala de Estar, onde encontra-se instalado o AP-01. Notou-se uma variação mais baixa, de 10dBm, onde a RSSI variou entre -40dBm a -50dBm.

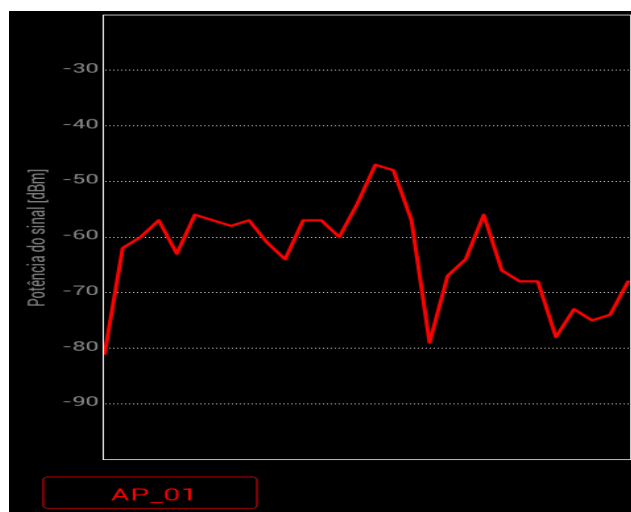
**Figura 36 – Variação de RSSI – Sala de Estar**



Fonte: *WiFi Analyzer*

A Figura 37 demonstra a variação da RSSI com o dispositivo em mãos, caminhando da Sala de Estar até o Quarto 2. Notou-se uma alta variação no percurso, onde a RSSI variou entre -81dBm e -47dBm.

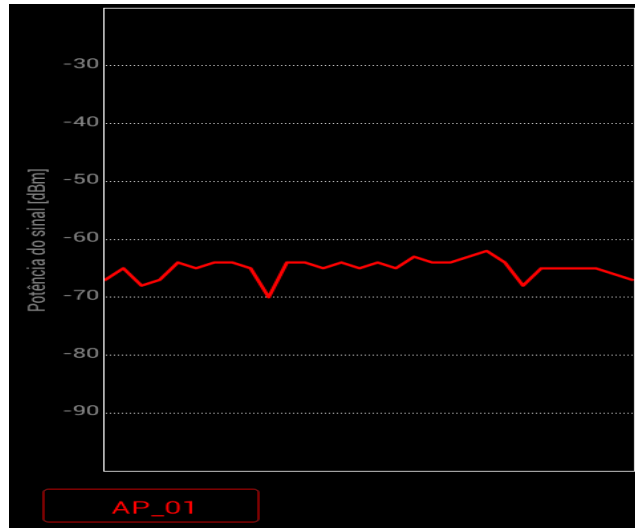
**Figura 37 – Variação de RSSI – Sala de Estar x Quarto 2**



Fonte: *WiFi Analyzer*

A Figura 38 demonstra a variação da RSSI com o dispositivo em mãos, porém estático no Quarto 2. Notou-se que, ainda que o dispositivo móvel não esteja no mesmo cômodo onde está instalado o AP-01, com o dispositivo estático a variação foi menor que 10dBm, variando entre -70dBm e -62dBm.

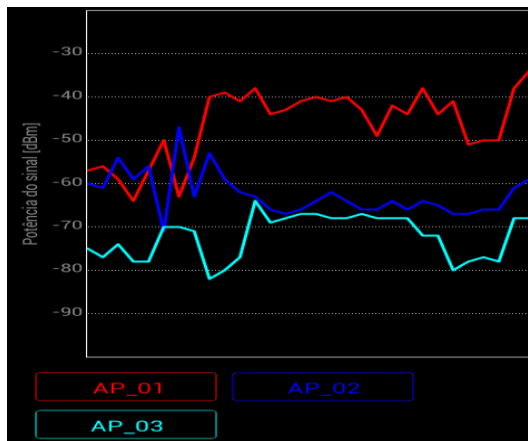
**Figura 38 – Variação de RSSI – Quarto 2**



Fonte: *WiFi Analyzer*

Com os três Access Points sendo monitorados pelo *WiFi Analyzer* a Figura 39 demonstra a variação da RSSI com o dispositivo em mãos, caminhando da Sala de Jantar para a Sala de Estar. Notou-se a melhora no sinal do AP-01, pois o mesmo está instalado na Sala de Estar, porém com instabilidade na da RSSI em todos os sinais dos Access Points devido a movimentação do dispositivo.

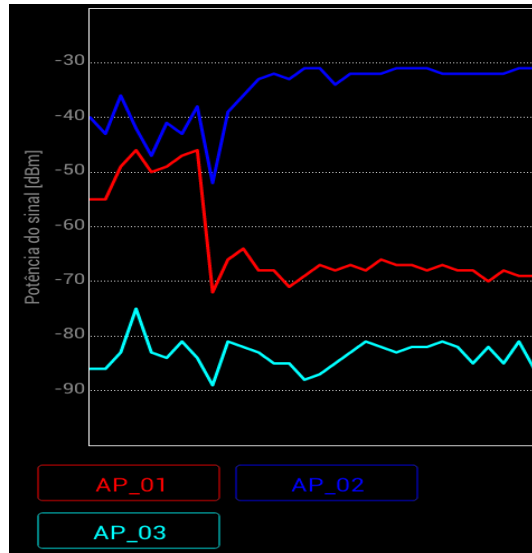
**Figura 39 – Variação de RSSI – Sala de Jantar x Sala de Estar – 3 Access Points**



Fonte: *WiFi Analyzer*

A Figura 40 demonstra a variação de RSSI, caminhando da Sala de Estar para o Quarto 2, onde está instalado o AP-02, mantendo o dispositivo em mãos e estático, notou-se que houve melhora do sinal do AP-02 e estabilidade da RSSI em todos os sinais dos Access Points.

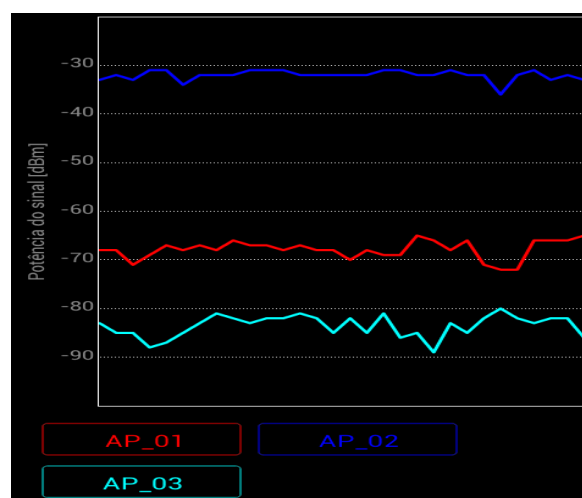
**Figura 40 – Variação de RSSI – Sala de Estar x Quarto 2**



Fonte: *WiFi Analyzer*

A Figura 41 demonstra que com o dispositivo em mãos de forma estática no Quarto 2, notou-se que a estabilidade da RSSI dos Access Points permaneceu. No AP-02, instalado no Quarto 2 a variação foi de no máximo 5dBm e nos demais Access Points de no máximo 10dBm

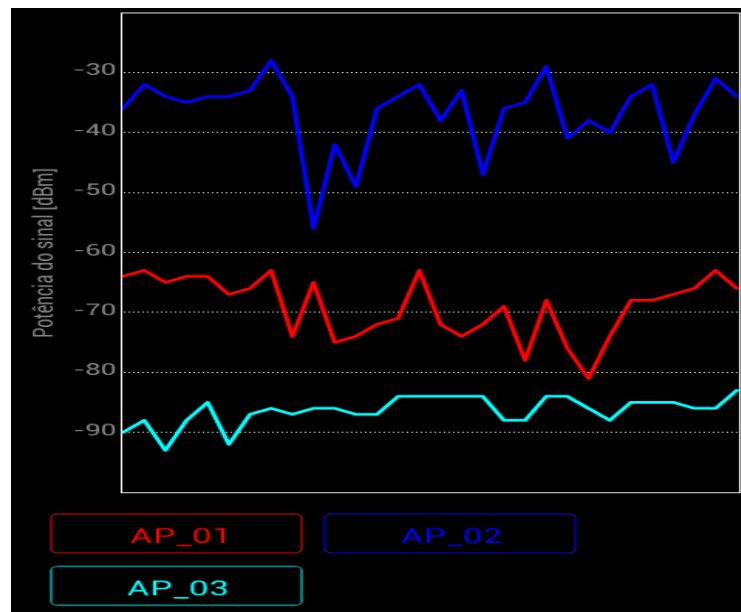
**Figura 41 – Variação de RSSI – Quarto 2**



Fonte: *WiFi Analyzer*

Na Figura 42, ainda no Quarto 2 com o dispositivo em mãos na mesma posição, porém variando sua orientação (girando 360°), notou-se grande variação de RSSI nos três Access Points. O AP-02 apresentou uma variação de RSSI de aproximadamente 30dBm (-28dBm a -58dBm) justamente pelo mesmo estar instalado no Quarto 2 e a RSSI estar mais suscetível a variações de acordo com a orientação do dispositivo móvel.

**Figura 42 – Variação de RSSI – Quarto 2 – Movimentação**



Fonte: *WiFi Analyzer*

Todos os gráficos apresentados no Capítulo 4 com relação a variação da RSSI demonstram claramente que a movimentação do dispositivo com relação a posição de localização e a orientação do dispositivo em mãos, afeta diretamente a RSSI, gerando instabilidade e influenciando diretamente no funcionamento do sistema de localização proposto. Mesmo com a instabilidade da RSSI o sistema proposto apresentou bons resultados, conforme demonstrado no início do Capítulo 4, justamente por no momento da coleta de RSSI as variações serem consideradas, formando faixas de variações.

Outro desafio encontrado no desenvolvimento deste sistema de localização, foi na fase de coleta de informações (RSSI), onde a mesma foi feita de forma manual, gerando certa imprecisão. No tópico Trabalhos Futuros no Capítulo 5, comenta-se do desenvolvimento de um *software* que possa fazer a coleta de informações de forma automática. Outro fator percebido neste desafio, foi que mudanças no ambiente, como movimentação de móveis, portas fechadas,

fatores de interferência e outras mudanças podem gerar a necessidade de uma nova coleta de informações, o que chamou-se de calibragem do sistema.

Para novos testes, passados alguns meses dos testes iniciais deste sistema, fez-se a calibragem do sistema, desta vez de forma aleatória com relação as posições, utilizando o COLETA\_WIFI\_V2. Para esta calibragem somente foi considerada a RSSI máxima e a RSSI mínima em cada cômodo da residência como mostra a Tabela 5. Algumas diferenças foram notadas em relação a primeira coleta de informações (Tabela 3), o que demonstra variações sofridas devido a mudanças ocorridas no ambiente.

**Tabela 5 – Calibragem do sistema utilizando COLETA\_WIFI\_V2**

		RSSI MAX	RSSI MIN
SALA DE JANTAR	AP01	-40	-63
	AP02	-50	-80
	AP03	-60	-83
SALA DE ESTAR	AP01	-26	-40
	AP02	-61	-73
	AP03	-65	-82
QUARTO 2	AP01	-61	-84
	AP02	-29	-48
	AP03	-82	-88
WC 2	AP01	-46	-63
	AP02	-55	-71
	AP03	-77	-85
COZINHA	AP01	-66	-73
	AP02	-57	-81
	AP03	-58	-77
WC 1	AP01	-72	-80
	AP02	-44	-53
	AP03	-73	-83
QUARTO 1	AP01	-73	-84
	AP02	-58	-77
	AP03	-69	-84

Baseado na calibragem do sistema, o código do aplicativo LOCALIZADOR\_WIFI\_V2 foi preciso ser atualizado, pois as informações de RSSI sofreram alterações. As únicas alterações necessárias, foram nas RSSI máximas e mínimas em cada condição do código, portanto gerou-se o LOCALIZADOR\_WIFI\_V3.

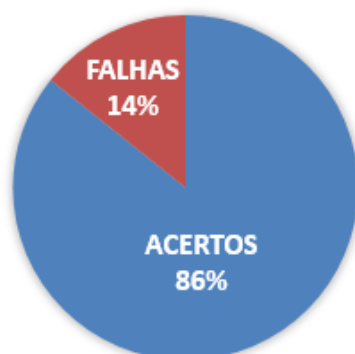
Utilizando o LOCALIZADOR\_WIFI\_V3 foi feito um novo teste na residência, caminhando de forma aleatória em vários pontos de cada cômodo. Notou-se uma melhora do

desempenho do sistema, o que justifica a necessidade da calibragem do sistema. A Figura 43 demonstra o resultado dos testes.

**Figura 43 – Eficiência do sistema de localização pós calibragem**

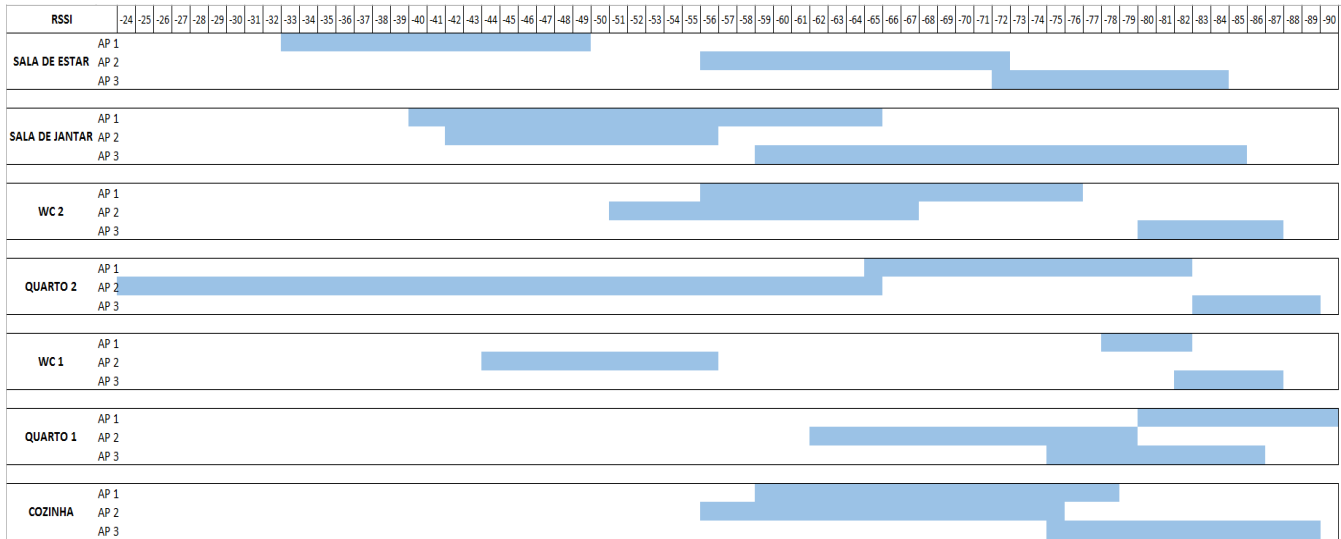
POSIÇÕES	ACERTOS	FALHAS
35	30	5

**DESEMPENHO - EFICIÊNCIA**



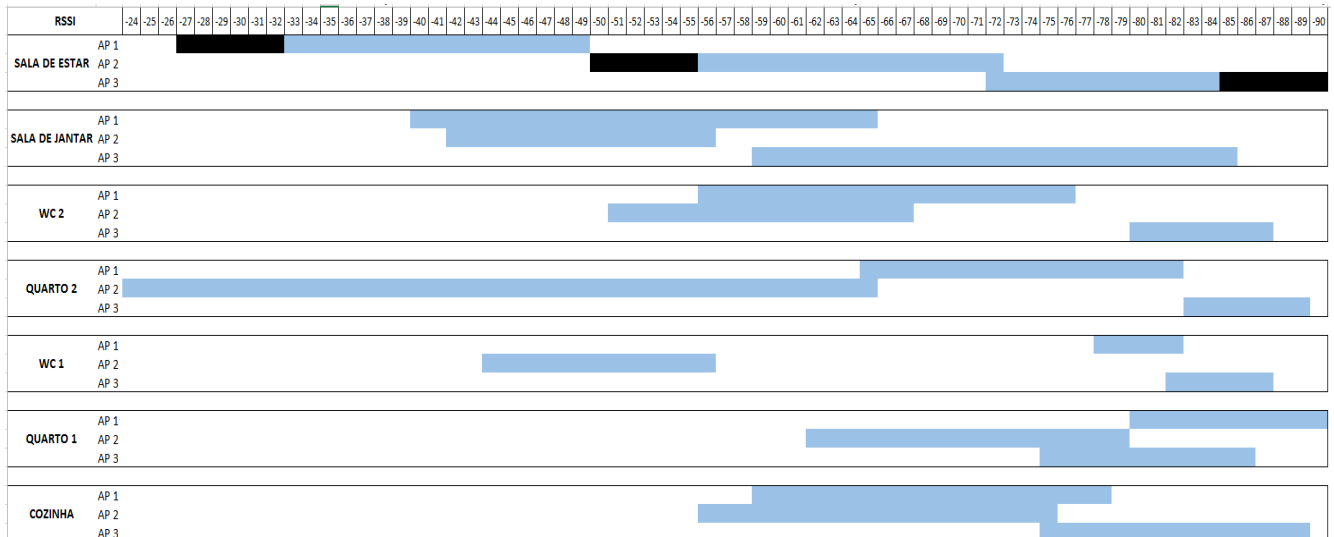
Para o desenvolvimento dos códigos LOCALIZADOR\_WIFI\_V2 e LOCALIZADOR\_WIFI\_V3 foram utilizadas as informações de RSSI coletadas de forma aleatória nos cômodos da residência proposta a se estimar localização, conforme já demonstrado. O código destes aplicativos informa a localização do dispositivo baseado em condições das variações formadas pelas RSSI coletadas em cada cômodo, ou seja, se o dispositivo estiver em um local que atenda três condições de variações de RSSI (três *Access Points*) ele está em um determinado cômodo. Porém, o LOCALIZADOR\_WIFI, não prevê todas as condições possíveis de variação de RSSI nos Access Points, ou seja, há momentos em que o aplicativo não gera nenhuma informação. Com a fase de coleta sendo de forma manual não é possível capturar todas as condições de variação de RSSI no dispositivo, pois conforme comentado, existem muitos fatores que geram instabilidade na RSSI, como interferência eletromagnética, mudanças de posição de objetos no ambiente, orientação e movimentação do dispositivo. A coleta de forma automática, ou seja, através de um aplicativo que a fizesse, poderia coletar uma maior amostragem de informações e melhor determinar as variações, mas também não resolveria o problema da instabilidade de RSSI. Uma análise foi feita nas informações coletadas nos primeiros testes com o sistema, utilizando o COLETA\_WIFI\_V2, antes da calibragem do sistema. A Figura 44 demonstra as variações de RSSI coletadas.

**Figura 44 – Variações da RSSI**



A Figura 44 demonstra com barras a variação da RSSI em cada Access Point e em cada cômodo. As barras de variação estão dispostas de forma linear e verticalmente alinhadas em suas posições, justamente para que se possa fazer análise de possíveis condições que não foram indicadas na fase de coleta e que fazem com que o aplicativo LOCALIZADOR\_WIFI\_V2 não forneça nenhuma informação. A Figura 45 demonstra uma possível condição em barras mais escuras, onde a RSSI no AP 1 está entre -27dBm e -32dBm, no AP 2 entre -50dBm e -55dBm e no AP 3 -85dBm e -90dBm. Esta condição é possível de ocorrer pois os valores supostos de RSSI em cada Access Point estão próximos aos valores reais coletados, portanto próximos aos valores no código LOCALIZADOR\_WIFI\_V2. Desta forma o aplicativo não informaria nenhuma localização.

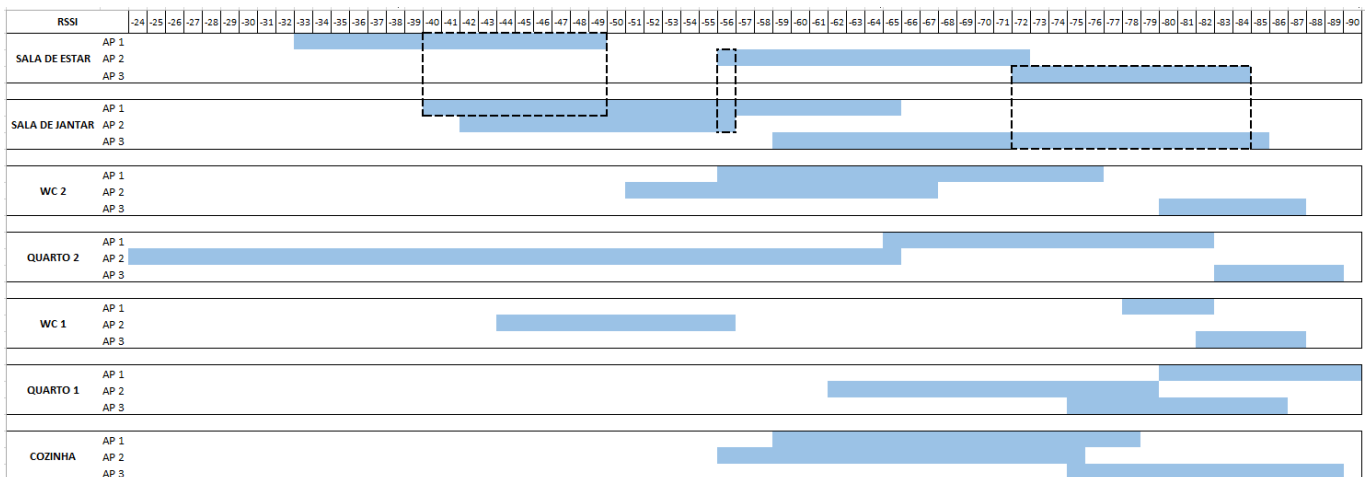
**Figura 45 – Possíveis condições de variação de RSSI não coletadas.**



Para minimizar o problema demonstrado na Figura 45, sugere-se como trabalho futuro o desenvolvimento de um *software* que faça a coleta de forma automática, podendo armazenar maiores amostragens de informações de RSSI em uma base de dados.

Outro problema encontrado, é a coincidência de variações de RSSI simultaneamente, o que pode causar um comportamento não esperado do aplicativo LOCALIZADOR\_WIFI. Na prática haveriam duas condições no código sendo atendidas ao mesmo tempo. A Figura 46 demonstra uma possível coincidência de variação de RSSI, onde o dispositivo móvel possui uma RSSI no AP1 entre -40dBm e -49dBm, no AP2 em -56dBm e no AP3 entre -72dBm e -84dBm.

**Figura 46 – Possíveis condições de variação de RSSI coincidentes simultâneas**



Na Figura 46, teoricamente pelo código LOCALIZADOR\_WIFI o dispositivo estaria em dois cômodos ao mesmo tempo, mas na prática o aplicativo informa apenas uma das localizações dependendo em que condição o mesmo está dentro do *looping* da função *draw* da linguagem Processing. Este problema, também pode ser minimizado com a automatização da coleta de informações, ou mesmo, com a utilização de mais referências de RSSI, ou seja, mais Access Points como referência, o que é perfeitamente possível em ambientes maiores.

Com mais referências para localização, como um AP4 por exemplo, a chance de ocorrer coincidências nas variações de RSSI diminuiriam a cada *Acess Point* a mais disponível para coleta de informações e utilizados no código LOCALIZADOR\_WIFI.



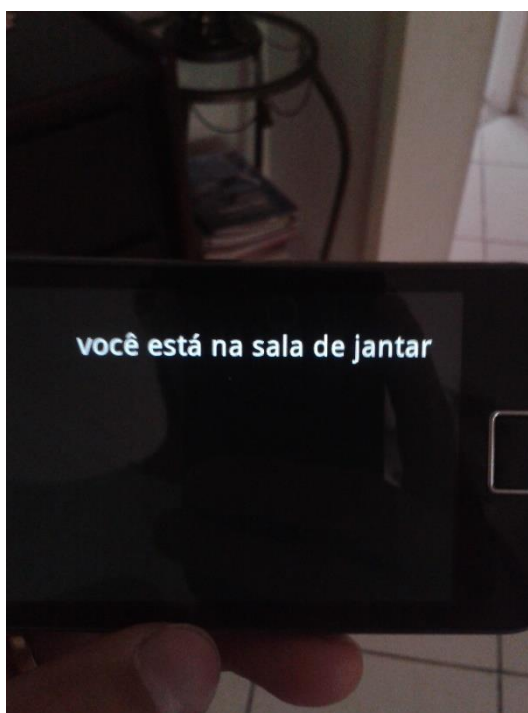
### 4.3. Testes em outros dispositivos

Para demonstrar que o objetivo do sistema de localização proposto neste trabalho foi alcançado de forma independente de um dispositivo único, foram feitos testes com o mesmo aplicativo em outro dispositivo, também com o sistema operacional Android instalado. O dispositivo é do mesmo fabricante, SAMSUNG, porém um modelo diferente, sendo o Galaxy Ace GT-S5830. Este modelo possui especificações técnicas diferentes do dispositivo utilizado neste trabalho.

Para verificar o funcionamento do sistema proposto neste trabalho, utilizou-se o Protótipo 2, instalando o LOCALIZADOR\_WIFI\_V3 no novo dispositivo. O LOCALIZADOR\_WIFI\_V3 foi desenvolvido após a calibragem do sistema, conforme comentado neste Capítulo. O teste consistiu em caminhar pelos cômodos da residência, em posições aleatória, anotando os acertos com relação a localização informada pelo dispositivo.

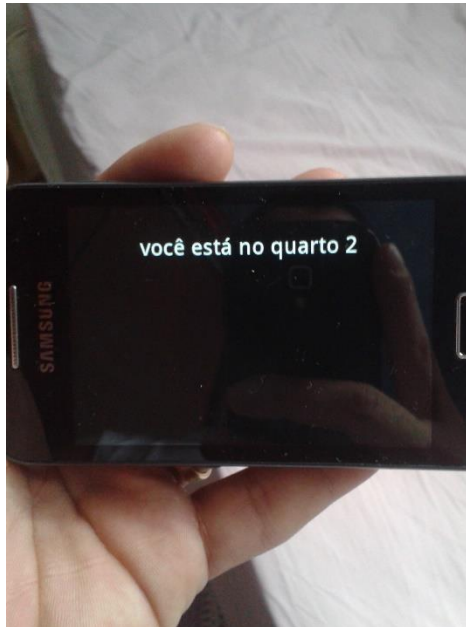
A Figura 47 ilustra o novo dispositivo móvel utilizando o sistema de localização na Sala de Jantar.

**Figura 47 – Teste de localização do sistema com outro dispositivo – Sala de Jantar**



A Figura 48 ilustra o novo dispositivo móvel utilizando o sistema de localização no Quarto 2.

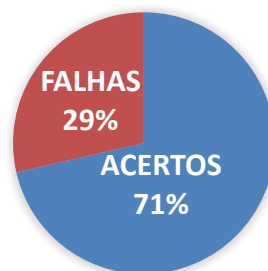
**Figura 48 – Teste de localização do sistema com outro dispositivo – Quarto 2**



**Figura 49 – Eficiência do sistema de localização em outro dispositivo**

POSIÇÕES	ACERTOS	FALHAS
35	25	10

#### DESEMPENHO - EFICIÊNCIA



A Figura 49 demonstra que a eficiência do sistema proposto em outro dispositivo, foi de 71%, ou seja, em números, em 35 posições consultadas, o mesmo acertou 25 posições, o que também considerou-se um bom desempenho do sistema de localização em ambientes internos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes internos utilizando a tecnologia Wi-Fi. As contribuições e trabalhos futuros estão apresentados a seguir:

### 5.1. Contribuições e Conclusões

Este trabalho pode contribuir em:

- Motivar novas pesquisas e trabalhos relacionados a localização interna, cujo tema já é explorado, porém ainda existem muitos desafios para que o mesmo se consolide em uma aplicação eficaz, assim como o GPS é para localização externa.
- Demonstrar a utilização das redes Wi-Fi como referência para várias outras aplicações, já que as mesmas proporcionam parâmetros ao ar livre que podem ser explorados para se transformarem em soluções práticas de mobilidade.
- Motivar as pesquisas em redes sem fio de modo geral, já que a mesma técnica utilizada neste trabalho pode ser utilizada em outras tecnologias de rede sem fio.
- Propor uma solução industrial sobre localização interna, de baixo custo, já que a infraestrutura de redes Wi-Fi já está presente na maioria das empresas.
- Demonstrar de maneira simples o funcionamento de um sistema de localização interna, utilizando componentes comumente utilizados, como Access Points e Smartphones.

Com o desenvolvimento deste trabalho pode-se concluir que:

- Ainda existem muitos desafios no desenvolvimento de aplicações relacionadas a localização interna, porém são possíveis soluções práticas de baixo custo que atingem o objetivo final.
- As redes Wi-Fi estão cada vez mais disponíveis nos ambientes, podendo ser exploradas para difundir a mobilidade digital.
- Apesar da simplicidade do sistema de localização proposto neste trabalho foi necessário um conhecimento técnico detalhado sobre redes sem fio e técnicas de localização interna.

## 5.2. Trabalhos Futuros

Conforme comentado anteriormente, este trabalho motiva o desenvolvimento de novas soluções em ambientes internos através da superação dos desafios encontrados em seu desenvolvimento e citadas no Capítulo 4. O sistema proposto atingiu seu objetivo, porém muitas oportunidades de melhorias foram notadas ao longo do desenvolvimento, como:

- Desenvolvimento de uma interface gráfica, onde possa ser visualizada a planta do local com a indicação da localização do smartphone. Um exemplo para uma aplicação utilizando interface gráfica, seria no desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes internos, como um Shopping Center, onde ao acessar o aplicativo a planta do local seria demonstrada na tela e um indicador gráfico, como um círculo por exemplo, informaria em qual local o dispositivo se encontra.

- Automatização da coleta de informação, no caso as RSSI presentes nos ambientes, através de um algoritmo que capte amostras das potências do sinal dos Access Points nos locais onde deseja-se estimar localização. Com a automatização da coleta de informações por um *software*, as mesmas seriam armazenadas em uma base de dados em quantidades de amostragem maiores, gerando maior precisão nas variações de RSSI coletadas.

- Desenvolvimento de informações de localização por voz nos *smartphones*, para utilização de pessoas com deficiências visuais. A utilização de comunicação por voz nos aparelhos celulares é bastante comum e presente nos *smartphones* atuais. Desenvolver um aplicativo de localização interna com informações por voz, poderia auxiliar por exemplo, pessoas com deficiências visuais, onde as informações de localização seriam emitidas sonoramente pelos *smartphones* através do aplicativos desenvolvidos.

- Utilização de mais parâmetros oriundos das redes Wi-Fi para efetuar localização, aumentando a precisão dos sistemas de localização interna. O sistema proposto neste trabalho utilizou a RSSI como informação de referência das redes Wi-Fi para se estimar localização em ambientes internos, porém existem outros parâmetros presentes nos sinais eletromagnéticos que podem ser utilizados, até mesmo em conjunto com a RSSI e outros para melhorar a precisão e desempenho dos sistemas de localização. Um exemplo, seria o parâmetro *timestamp*, que é o

tempo de sincronismo entre o transmissor (*Access Point*) e o receptor (*smartphone*). As utilizações de vários parâmetros simultaneamente formariam mapas de impressões digitais (LUO et al., 2013) nas localizações dos ambientes internos, o que aumentaria a precisão dos sistemas de localização. Outro parâmetro que pode ser utilizado em conjunto com os demais citados, é a relação sinal-ruído (SNR - *signal-to-noise ratio*), onde tem-se uma divisão da potência do sinal recebido (RSSI) com a atenuação presente no meio, gerando uma característica a mais nos sinais eletromagnéticos. O sistema RADAR (BAHL; PADMANABHAN, 2000) utiliza de forma simultânea a RSSI e SNR.

- Utilizar algoritmos de probabilidade na fase 2 do sistema proposto, também aumentando a precisão do sistema de localização. Conforme demonstrado no desenvolvimento do sistema de localização, o comportamento dos parâmetros dos sinais eletromagnéticos é instável devido a presença de interferência e outros fatores que causam instabilidade nestes parâmetros, como na RSSI por exemplo. Ainda que instável, estas variações podem ser previstas utilizando cálculos de probabilidade com as amostragens de informações coletadas.

- Estudar o comportamento de interferências causadas em transmissões de redes Wi-Fi para melhoria do algoritmo proposto na fase 2 do sistema. Como um dos maiores desafios encontrados para o desenvolvimento deste trabalho é a interferência em ambientes internos, que gera instabilidade nos parâmetros dos sinais eletromagnéticos, em trabalhos futuros um estudo sobre os motivos causadores e o comportamento das redes Wi-Fi mediante as interferências, seria de grande importância para o desenvolvimento de sistemas de localização cada mais adaptativos a este tipo de ambiente.

- Estudar o comportamento das variações de intensidade de sinal, em diferentes dispositivos, para desenvolvimento de um sistema que funcione de maneira eficaz em dispositivos diferentes. Cada vez mais os dispositivos móveis, como os *smartphones*, vem se desenvolvendo e modernizando seus *softwares* e *hardwares*. Obviamente para melhorar o desempenho das conexões, os aparelhos celulares sofrem modernizações em seus *hardwares*, gerando diferenças consideráveis no funcionamento. As conexões Wi-Fi destes dispositivos também estão evoluindo à medida que surgem novas tecnologias, como por exemplo o padrão 802.11ac já presente no Galaxy S5 do fabricante Samsung (SAMSUNG, 2014). Esta evolução de desempenho por consequência traz evolução dos *hardwares*, que por sua vez traz diferenças

nos parâmetros das conexões WiFi. Desta forma, um estudo destas novas tecnologias e *hardwares* é necessário para sistemas cada vez mais flexíveis aos diferentes tipos de dispositivos móveis.

Enfim, o sistema proposto neste trabalho foi a demonstração de que é possível desenvolver um sistema de localização para ambientes internos, sem a necessidade de implementações de novas infraestruturas ou mesmo *softwares* complexos pois já se possui parâmetros suficientes nas redes Wi-Fi ou outros tipos de redes sem fio, como referências para se efetuar localização.

## REFERÊNCIAS

- ACZEL, AMIR D. **Bússola, A Invenção que Mudou o Mundo**. Rio de Janeiro: Zahar, 2002.
- ALECRIM, E. **O que é Wi-Fi (IEEE 802.11)?** - INFOWESTER. Disponível em: <<http://www.infowester.com/wifi.php>> Acesso em: abril, 2014.
- ASTRONOO.COM – **Espectro Eletromagnético** – Disponível em: <<http://www.astronoo.com/pt/artigos/espectro-eletromagnetico.html>> Acesso em: abril, 2014.
- BALANIS, A. C. – **Antenna Theory, Third Edition, Analysis and Design**. New Jersey: Wiley 2005.
- BAHL, P.; PADMANBHAN, V, N. **RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System**. Disponível em: <<http://research.microsoft.com/en-us/groups/sn-res/infocom2000.pdf>> Acesso em: maio, 2014.
- CARREFEY, J. J.; STUBER, G. L. **Overview of radiolocation in CDMA cellular systems**. IEEE Communications magazine, v. 36, p. 36-45, Abril 1998.
- DARCEY, L.; CONDER, S. **Desenvolvimento de Aplicativos Wireless para o Android™ Volume I: Fundamentos do Android. Terceira Edição**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2012.
- DEVMEDIA - **Adapters em diferentes views no Android**. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/adapters-em-diferentes-views-no-android-revista-mobile-magazine-49/28246>> Acesso em: junho, 2014.
- DEVELOPER.ANDROID – **API Wi-Fi para Android**. Disponível em: <<http://developer.android.com/reference/android/net/wifi/package-summary.html>>. Acesso em: julho, 2014.
- FERRAZ, A. S. et al. **Ubee.in – An Indoor Location Solution for Mobile Devices**. Disponível em: <<http://research.microsoft.com/en-US/events/ipsn2014>>. Acesso em: fevereiro, 2014.
- FIGUEIRÊDO, D. C. – **Curso Básico de GPS**. São Paulo, 2005. Disponível em: <[http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Angulo/Curso\\_GPS.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Angulo/Curso_GPS.pdf)> Acesso em: março, 2014.
- GAZETA RUSSA – **Mitos e verdades: Glonass x GPS**. Disponível em: <[http://br.rbth.com/ciencia/2014/01/15/mitos\\_e\\_verdades\\_glonass\\_x\\_gps\\_23615.html](http://br.rbth.com/ciencia/2014/01/15/mitos_e_verdades_glonass_x_gps_23615.html)> Acesso em: abril, 2014.
- GERICKE, G. **1988: Hertz demonstra a existência das ondas eletromagnéticas**. Disponível em: <<http://dw.de/p/2qV7>> Acesso em: março, 2014.

GIACOMIN, J. C; VASCONCELOS, F. HENRIQUE – **Qualidade da Medição de Intensidade de Sinal nas Comunicações de uma Rede de Sensores Sem Fios: uma Abordagem da Camada Física**. Disponível em:

<<http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v5.2/art11.pdf>> Acesso em: outubro, 2014.

GOOGLE.PLAY – **WiFi Analyzer** – Disponível em:

< [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.farproc.wifi.analyzer&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.farproc.wifi.analyzer&hl=pt_BR)>

Acesso em: outubro, 2014.

HIGHTOWER, J.; BORRIELLO, G. **A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing**. Whashington: Department of Computer Science and Engineering, University of Whashington, 2001.

IEEE 2012 – **Standard for Information technology – Std 802.11™-2012 (Revision of IEEE 802.11, 2007)**. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11-2012.html>> Acesso em: abril, 2014.

IEEE 2003 – **Standard for Information technology – Std 802.11g™-2003 (Amendment to IEEE 802.11, 1999 Edition (Reaff, 2003))**. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11g-2003.html>> Acesso em: abril, 2014.

JAVA – **Obtenha informações sobre a Tecnologia Java**. Disponível em: <[https://www.java.com/pt\\_BR/about/](https://www.java.com/pt_BR/about/)>. Acesso em: julho, 2014.

LEANDRO, D. **Investigação do posicionamento GPS em ambientes internos com o auxílio do efeito de multicaminho**. 2009. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

LUO, Y. et al. - **Enhancing Wi-Fi fingerprinting for indoor positioning using human-centric collaborative feedback**. Disponível em: <<http://www.hcis-journal.com/content/3/1/2>> Acesso em: outubro, 2014.

MÔNICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**. São Paulo: Unesp, 2000.

MOURA, A. I. **WBLS: Um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi**. 2007. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PROCESSING – **Website oficial da linguagem Processing**. Disponível em: <<https://www.processing.org/>>. Acesso em: julho, 2014.

RAPPAPORT, S. T. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. São Paulo: Person Prentice Hall, 2009.

PHONEXTREME - **Samsung i9300 Wifi antenna,GH59-12196A 1h2**. Disponível em: <<http://www.phonextreme.co.za/parts-samsung-samsung-series-samsung-i9300-galaxy-samsung-i9300-wifi-antennagh59-12196a-p-4986.html?cPath=0>> Acesso em: outubro, 2014.



RESEARCH.MICROSOFT – **Microsoft Indoor Localization Competition - IPSN 2014.** Disponível em: <<http://research.microsoft.com/en-us/events/ipsn2014indoorlocalizationcompetition/>> Acesso em: março, 2014.

SAMSUNG – **Especificações Samsung Galaxy S5.** Disponível em: <<http://www.samsung.com/br/consumer/cellular-phone/cellular-phone-tablets/smartphones/SM-G900MZDAZVV-spec>>. Acesso em: junho, 2014.

SOBEL, D. **Longitude, A verdadeira história do gênio solitário que resolveu o maior problema científico do século XVIII.** São Paulo: Companhia de bolso, 2008.

SOURCE.ANDROID - **Welcome to the Android Open Source Project!** Disponível em: <<http://source.android.com/>>. Acesso em: junho, 2014.

SUSSKIND, C. **Henrich Hertz: A Short Life.** San Francisco, 1995.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores 4º edição.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

TECHTUDO – **Google lança Indoor Maps no Brasil, mapas de planta baixa dentro de locais.** Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/05/google-lanca-indoor-maps-no-brasil-mapas-de-planta-baixa-dentro-de-locais.html>> Acesso em: maio, 2014.

THE WALL STREET JOURNAL – **Apple Acquires Indoor Location Company WifiSLAM.** Disponível em: <<http://blogs.wsj.com/digits/2013/03/23/apple-acquires-indoor-location-company-wifislam/>> Acesso em: maio, 2014.

TORRES, G. **Redes de Computadores, 2º edição.** Rio de Janeiro: Nova Terra, 2014.

TPLINK – **Roteador Wireless N 150Mbps TL-WR741ND.** Disponível em: <<http://www.tp-link.com.br/products/details/?categoryid=&model=TL-WR741ND#spec>>. Acesso em: outubro 2014.

WNDW.NET – **Wireless Networking in The Developing World.** Free ebook. License: Creative Commons, 2013.

WU S.; BIAZ S. – **Measurement Based Link Level Investigation of IEEE 802.11g Channels.** Disponível em: < <http://airccse.org/journal/cnc/0311cnc01.pdf>> Acesso em: outubro, 2014.