

WILKER RODRIGUES DE ALMEIDA

**UMA METODOLOGIA DE LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO PERFIS PARA
AMBIENTES *INDOOR* EM REDES 802.11**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

WILKER RODRIGUES DE ALMEIDA

**UMA METODOLOGIA DE LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO PERFIS PARA
AMBIENTES *INDOOR* EM REDES 802.11**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

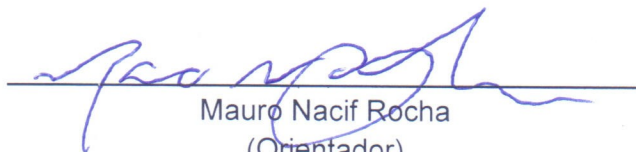
APROVADA: 28 de Outubro de 2011.



Carlos de Castro Goulart
(Coorientador)



Ricardo Augusto Rabelo Oliveira



Mauro Nacif Rocha
(Orientador)

Aos meus pais Mauro e Maria das Graças,
orientador Mauro Rocha, irmãos Welder e
Nathália, Ana Cristina e amigos.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, por me dar cada vez mais forças sempre que encontrava um empecilho pela frente, me fazer chegar até aqui e iluminar sempre a minha caminhada.
- Aos meus pais, Mauro e Maria das Graças, por todo apoio e incentivo.
- Aos meus irmãos, Welder e Nathália, companheiros em qualquer momento.
- A minha companheira Ana Cristina, por todo incentivo, paciência e amor.
- A meu orientador Mauro Nacif Rocha, por toda dedicação, paciência, empenho e suporte dado durante todo o período de orientação e desenvolvimento deste trabalho.
- A meu companheiro neste projeto, Vitor Madureira Sales, que contribuiu de maneira ímpar durante todos os processos.
- A meus coorientadores Carlos de Castro Goulart e Ricardo Santos Ferreira que contribuíram com suas opiniões .
- Aos amigos que conheci durante o mestrado, com os quais compartilhei bons momentos e que contribuíram para eu chegar até este momento.
- A todos os professores do DPI, em especial aqueles que eu tive o privilégio de ser aluno.
- Aos servidores do DPI, em especial ao Altino, que sempre esteve disposto a me ajudar da melhor maneira possível.
- A todos os meus familiares e amigos, que contribuíram de maneira direta ou indireta para mais esta conquista.

BIOGRAFIA

Wilker Rodrigues de Almeida, filho de Mauro Rubens Cardoso de Almeida e Maria das Graças Rodrigues de Almeida, é brasileiro, nascido em 18 de Abril de 1984, no município de Cataguases, no Estado de Minas Gerais.

No ano de 2001, concluiu o ensino médio no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), instituição pela qual também obteve, no mesmo ano, o título de Técnico em Informática Industrial. Após dedicar três anos ao mercado de trabalho, atuando como técnico, iniciou no ano de 2005, nas Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases, o curso superior em Sistemas de Informação, através do qual se tornou Bacharel no ano de 2008. No ano seguinte ingressou no programa de pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciência da Computação do Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, onde obteve o título de mestre, defendendo sua dissertação em outubro de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ACRÔNIMOS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Justificativa	3
1.3 Trabalhos Relacionados	6
1.4 Organização Deste Documento	9
2 A Localização de Dispositivos Móveis e Seus Problemas	10
2.1 Cell-ID	10
2.2 Triangulação de Sinais	11
2.3 Time of Arrival (TOA) e Time Difference of Arrival (TDOA)	12
2.4 Angle of Arrival (AOA).....	12
2.5 Comparativo de Precisão Entre Técnicas de Localização	13
2.6 O Problema da Propagação do Sinal em Ambientes <i>Indoor</i>	14
2.6.1 Atenuação do Sinal	15
2.6.2 Reflexão	16
2.6.3 Refração.....	16

2.6.4	Difração	16
2.6.5	Dispersão	17
2.7	A Importância da Verificação do Comportamento do Sinal	17
3	O Modelo de Localização.....	18
3.1	O Problema.....	19
3.2	Área de Testes e Preparação do Projeto.....	21
3.2.1	Medições.....	23
3.2.2	Simulações.....	24
3.2.3	Gráficos e Equações	25
3.3	O Funcionamento do Modelo.....	26
4	Validação do Modelo de Localização	34
4.1	Dados Brutos	35
4.2	Cobertura e Número de AP's.....	36
4.3	Análise dos Resultados	37
4.3.1	Resultado Médio	37
4.3.2	Resultados Detectando 1 AP	38
4.3.3	Resultados Detectando 2 AP's.....	39
4.3.4	Resultados Detectando 3 AP's.....	40
4.3.5	Resultados Detectando 4 AP's.....	42
4.3.6	Resultados Detectando, no Mínimo, 3 AP's	42
4.3.7	Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal.....	43
4.4	Conclusões Sobre o Modelo de Localização	43
5	Utilização de Perfis Para Localização	48
5.1	O Conceito de Perfis Para Localização	49
5.2	Testes	50

5.3	Resultados.....	52
5.3.1	Melhores Resultados Utilizando Perfis.....	52
5.3.1.1	Resultado Médio	54
5.3.1.2	Resultados Detectando 1 AP	54
5.3.1.3	Resultados Detectando 2 AP's.....	55
5.3.1.4	Resultados Detectando 3 AP's.....	55
5.3.1.5	Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal	55
5.3.1.6	Análise Geral dos Resultados	56
5.3.2	Resultados Utilizando os Perfis Mais Recomendados	57
5.3.3	Resultados da Combinação 01	60
5.3.3.1	Resultado Médio	61
5.3.3.2	Resultados Detectando 1 AP	62
5.3.3.3	Resultados Detectando 2 AP's.....	62
5.3.3.4	Resultados Detectando 3 AP's.....	63
5.3.3.5	Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal	63
5.3.3.6	Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal Detectando, no Mínimo, 2 AP's	64
5.3.3.7	Análise Geral dos Resultados	64
5.3.4	Resultados da Combinação 02	66
5.3.4.1	Resultado Médio	67
5.3.4.2	Resultados Detectando 1 AP	67
5.3.4.3	Resultados Detectando 2 AP's.....	68
5.3.4.4	Resultados Detectando 3 AP's.....	68
5.3.4.5	Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal	68
5.3.4.6	Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal Detectando, no Mínimo, 2 AP's	69

5.3.4.7	Análise Geral dos Resultados	69
5.3.5	Comparativo Entre as Combinações 01 e 02 de Perfis	70
5.3.6	Análise dos Resultados dos 3° e 4° Andares	72
5.4	Parâmetros Importantes Para a Definição de Perfis	76
5.5	Análise da Implantação de LBS Utilizando Perfis	77
6	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	79
6.1	Conclusões Sobre o Modelo de Localização	79
6.2	Conclusões Sobre a Utilização de Perfis Para a Implantação de LBS.....	80
6.3	Trabalhos Futuros Relacionados ao Modelo de Localização.....	82
6.4	Trabalhos Futuros Relacionados à Utilização de Perfis Para a Implantação de LBS.....	83
6.5	Conclusão Final Sobre o Projeto	85
APÊNDICE A	Locais das Medidas Iniciais e Pontos de Acesso Utilizados	87
APÊNDICE B	Mapas de Cobertura de Sinal	91
APÊNDICE C	Gráfico e Equações dos Pontos de Acesso.....	94
APÊNDICE D	Testes.....	96
D.1	Testes Utilizando o Notebook 01	97
D.2	Testes Utilizando o Notebook 02	98
D.3	Testes Utilizando Perfis	98
	Referências Bibliográficas.....	100

LISTA DE FIGURAS

2.1	Triangulação de sinais (MOURA, 2007)	11
2.2	Angle of Arrival (MOURA, 2007)	13
2.3	Comparativo entre várias técnicas de localização (SHAH, 2010)	13
2.4	Atenuação do Sinal (Peres, 2010)	15
2.5	Reflexão do Sinal (FARIAS, 2006)	16
2.6	Refração do Sinal (PERES, 2010)	16
2.7	Difração do Sinal (PERES, 2010)	17
2.8	Dispersão do Sinal (PERES, 2010)	17
3.1	Mapa completo do 4º andar (acima), primeira metade do mapa (centro) e segunda metade do mapa (abaixo), com os locais das medidas e os AP's identificados	22
3.2	Simulação do comportamento do sinal do AP 01 em todo o ambiente	25
3.3	Gráfico da relação Distância x RSSI e a equação para o AP 01.....	26
3.4	Algoritmo em alto nível do modelo de localização.....	27
3.5	Padrão de coordenada de busca	31
4.1	Locais das medidas de testes	34
4.2	Erro apresentado em cada local de medida	35
4.3	Influência dos sinais com potência baixa na localização (SMAILAGIC et. al., 2002)	40
5.1	Comparativo entre o 4º e o 3º andar do CCE da UFV	49

5.2	Posicionamento dos AP's e locais das medidas de teste	50
5.3	Menores erros encontrados utilizando perfis.....	53
5.4	Menor Erro x Combinação 01.....	60
5.5	Menor Erro x Combinação 02.....	66
5.6	Medidas com o Menor Erro, Combinação 01 e Combinação 02	71
5.7	Locais das medidas nos 4° e 3° andares	73
5.8	Comparativo entre as medidas dos 3° e 4° andares	74
A.1	Mapa completo do 4° andar, com os locais das medidas e os AP's identificados	87
A.2	Primeira metade do Mapa do 4° andar, com os locais das medidas e os AP's identificados	87
A.3	Segunda metade do mapa do 4° andar, com os locais das medidas e os AP's identificados	88
B.1	Mapa de contorno do AP 01.....	91
B.2	Mapa de calor do AP 01	92
B.3	Mapa de contorno do AP 02.....	92
B.4	Mapa de calor do AP 02	92
B.5	Mapa de contorno do AP 03.....	92
B.6	Mapa de calor do AP 03	93
B.7	Mapa de contorno do AP 04.....	93
B.8	Mapa de calor do AP 04	93
C.1	Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 01	94
C.2	Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 02	95
C.3	Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 03	95
C.4	Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 04	95

D.1	Locais das medidas de testes	96
D.2	Locais das medidas de testes e posicionamento dos AP's.	98

LISTA DE TABELAS

2.1	Grau de atenuação de vários obstáculos (Håkegård, 2005)	15
4.1	Resultados do Notebook 01 para todas as medidas	44
4.2	Resultados do Notebook 01 para as medidas na área de boa cobertura de sinal	44
4.3	Resultados do Notebook 02 para todas as medidas	44
4.4	Resultados do Notebook 02 para as medidas na área de boa cobertura de sinal	45
4.5	Resultados dos Notebooks 01 e 02 para todas as medidas.....	45
4.6	Resultados dos Notebooks 01 e 02 para as medidas na área de boa cobertura de sinal	45
5.1	Melhores Resultados Utilizando Perfis Com Todas as Medidas	57
5.2	Melhores Resultados Utilizando Perfis Com as Medidas de 9 à 16	57
5.3	Combinação 01 Utilizando Perfis Com Todas as Medidas.....	65
5.4	Combinação 01 Utilizando Perfis Com as Medidas de 9 à 16.....	65
5.5	Combinação 02 Utilizando Perfis Com Todas as Medidas.....	70
5.6	Combinação 02 Utilizando Perfis Com as Medidas de 9 à 16.....	70

LISTA DE ACRÔNIMOS

AP	Access Point
DM	Dispositivo Móvel
GPS	Global Positioning System
LBS	Location-Based Services
PDA	Personal Digital Assistant
RSSI	Received Signal Strength Indication
TDOA	Time Difference of Arrival.
TOA	Time of Arrival

RESUMO

ALMEIDA, Wilker Rodrigues de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2011. **Uma Metodologia de Localização Utilizando Perfis para Ambientes *indoor* em Redes 802.11**. Orientador: Mauro Nacif Rocha. Coorientadores: Carlos de Castro Goulart e Ricardo dos Santos Ferreira.

Enquanto hoje em dia a localização em ambiente *outdoor* é bem resolvida utilizando GPS e outros métodos, a *indoor* ainda precisa de mais estudos e melhorias. A maioria das técnicas disponíveis hoje não podem ser generalizadas e usadas em qualquer ambiente sem antes realizar um estudo aprofundado da propagação do sinal e seu mapeamento, e as técnicas atuais de localização em ambientes externos não são boas o suficiente para esta finalidade. Muitos modelos alcançam uma boa precisão, mas não reduzem o seu trabalho caso você tente implantar a mesma técnica em um ambiente com características semelhantes. Assim, o trabalho que poderia ser reduzido torna-se redundante, exigindo os mesmos passos para implantar em um local parecido. Por isso propomos um modelo no qual caso já tenhamos implementado o mesmo em um determinado ambiente, e nós precisamos de replicá-lo em locais com as mesmas características (outros andares no mesmo prédio, ou em outros edifícios com as mesmas características), o trabalho inicial de implementação pode ser bastante reduzido. Nossos resultados iniciais mostram uma precisão média de 5m em áreas "bem servidas" por pontos de acesso, e 14m considerando as áreas onde os sinais de ponto de acesso são fracos. Além disso, esta solução pode facilitar o uso de Serviços Baseados em Localização (LBS) em vários tipos de ambientes internos, reduzindo os custos de implantação.

ABSTRACT

ALMEIDA, Wilker Rodrigues de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, october of 2011. **A Location Methodology Using Profiles for Indoor Enviroments in 802.11 Networks.** Adviser: Mauro Nacif Rocha. Co-Advisers: Carlos de Castro Goulart and Ricardo dos Santos Ferreira.

While today's outdoor location is well accomplished using GPS and other methods, indoor mobile location still needs further studies and improvements. Most of the techniques available today cannot be generalized and used in any environment without a thorough prior study of the signal propagation and its mapping, and current outdoor location techniques are not good enough for this purpose. Many models achieve a good accuracy, but do not reduce your work if you try to deploy the same technique in an environment with similar characteristics. Thus, the work that could be reduced becomes redundant, requiring the same steps to deploy to a similar location site. Therefore we propose a model in which, if we have already implemented the model in a given environment, and we need to replicate it in other places with similar characteristics (other floors in the same building, or in other buildings with the same characteristics), the initial work of implementation can be greatly reduced. Our initial results show an average precision of 5m in areas "well served" by access points, and 14m considering areas where access point signals are very poor. Furthermore, this solution can facilitate the use of Location Based Services (LBS) in various types of indoor environments, reducing the deployment costs.

Capítulo 1 – Introdução

Nos últimos anos observamos um aumento significativo nas vendas de dispositivos móveis (DM), sejam estes para o uso pessoal, comercial, com alto ou baixo poder de processamento. A tendência é que cada vez mais estes equipamentos tomem conta do mercado de tecnologia, com o aumento de suas funcionalidades, bem como da praticidade que estes oferecem para os usuários. Notebooks, PDAs (*Personal Digital Assistant*) e os *smartphones* são dispositivos que já se tornaram corriqueiros no dia a dia das pessoas, sendo considerados muitas vezes essenciais para o cumprimento das tarefas corriqueiras. Com o surgimento e a popularização cada vez maior dos *tablets*, observamos que a tendência para os próximos anos é tornar a comunicação cada vez menos dependente de conexões físicas, como nos equipamentos que utilizam fios e cabos.

Se considerarmos apenas o mercado de telefonia celular, o ano de 2010 fechou com um total de 5,3 bilhões de aparelhos no mundo, havendo uma proporção de quase 1 aparelho para cada habitante. O Brasil, quinto maior mercado de celulares do mundo e segundo da América, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, fechou este mesmo período com 203 milhões de aparelhos (TELECO, 2011). Comparando este resultado com os dados do Censo 2010 divulgados pelo IBGE (IBGE, 2010), o país possui uma proporção de mais de um celular por habitante, o que demonstra o poder e o interesse da população local neste tipo de equipamento.

Como a tecnologia móvel não se resume apenas a aparelhos celulares, mas também a outros DM, como os citados anteriormente, surge o interesse dos desenvolvedores e empresas em criar ferramentas e aplicativos que agreguem valores e auxiliem os usuários a cumprirem suas tarefas, desde as mais simples até as mais complexas. Um dos serviços que ganhou bastante

mercado com aumento na venda destes dispositivos foi o de LBS (*Location-Based Services*) ou Serviços Baseados em Localização.

Apesar de ter havido uma crescente na utilização deste tipo de ferramenta nos últimos anos, serviços como este já existem desde o início dos anos 70. Projetado inicialmente para fins militares, o GPS (*Global Positioning System*) é um bom exemplo. Essa tecnologia, desenvolvida pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos em busca de obter uma vantagem competitiva em cima de outros países, utiliza-se de satélites posicionados de maneira estratégica na órbita terrestre para determinar a localização de pessoas e objetos em qualquer parte do mundo (ALVES, 2006).

Tecnologias como essa já mudaram a rotina em vários segmentos. Hoje em dia muitas empresas de transporte e entrega de mercadorias utilizam equipamentos como estes para traçar suas rotas, substituindo os antigos mapas. Pessoas muitas vezes viajam sem saber ao certo o caminho até o seu destino final, porém contam com o auxílio destes dispositivos.

Mas então, se existe uma tecnologia gratuita que necessita apenas de um aparelho acoplado com um chip de GPS para determinar a localização, por que ainda se estuda outros métodos? Simplesmente pelo fato de que esta tecnologia não funciona de maneira satisfatória em ambientes *indoor*, e em muitas situações, é neste tipo de local que se deseja este tipo de serviço.

Shoppings, museus, universidades, hospitais, rodoviárias, aeroportos, dentre outros são alguns dos exemplos de locais aonde um serviço como esse seria de grande valia. Podemos citar as seguintes situações.

- Ganhei um presente que foi comprado em uma loja deste shopping, porém estou precisando trocá-lo. Onde fica este estabelecimento?
- Pretendo visitar determinada obra de arte neste museu? Onde ela está exposta?
- Onde será que fica o fraldário mais próximo daqui?
- Hoje é meu primeiro dia de aula e preciso encontrar minha sala. Por onde começo a procurar?
- Onde fica o gabinete do professor de Matemática?
- Surgiu uma emergência no hospital e precisamos encontrar o médico. Aonde será que ele está?

- Meu local de embarque é o portão L30. Para que lado devo seguir?

Esses são apenas alguns exemplos de situações que facilmente seriam resolvidas com a existência de um serviço de localização e economizaria tempo dos usuários.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal a criação de um modelo de localização utilizando AP's de redes 802.11g munidos de uma antena omnidirecional, trabalhando na frequência de 2.4 GHz, possibilitando a utilização desse modelo em qualquer tipo de ambiente, podendo o mesmo ser implantado em locais com características semelhantes, com um custo de implantação significativamente reduzido.

Consideraremos também que no momento em que o usuário deseja saber a sua localização dentro do ambiente, este não estará em movimento.

1.2 Justificativa

Com o crescimento cada vez maior nas vendas de dispositivos móveis no mundo, e estes possuindo cada vez mais recursos e poder de processamento, quanto mais facilidades os fabricantes fornecerem para seus usuários, maior tende a ser a quantidade de equipamentos vendidos. Empresas dos mais variados nichos de mercado lançam cada vez mais aplicativos para auxiliar as pessoas nas mais diversas tarefas do dia a dia.

A utilização de LBS cresceu bastante nos últimos anos, devido às facilidades que oferece aos usuários de dispositivos móveis e às vantagens competitivas que podem fornecer para as empresas que os disponibilizam, fazendo com que cada vez mais serviços como estes sejam solicitados para os mais variados tipos de clientes.

Segundo os principais pesquisadores da área, LBS podem ser classificados de das seguintes maneiras (SCHILLER; VOISARD, 2004):

- LBS orientado à pessoa – São todos aqueles em que os serviços possuem como foco principal um usuário, tais como os que determinam o seu posicionamento em determinado ambiente ou utilizam esta informação para melhorar determinado serviço. Serviços classificados nessa categoria podem ser controlados pelo usuário (serviços de busca de pessoas);
- LBS orientado a dispositivos – São aqueles em que os serviços não são exclusivamente desenvolvidos para um determinado usuário. Ao invés disso, vários objetos ou pessoas podem ser localizados. Serviços classificados nesta categoria não são controlados pelos usuários (Serviços de rastreamento de carro).

Na primeira classificação de LBS, existem duas categorias de serviços:

- Serviços enviados (*push services*) – São os serviços que utilizam do posicionamento atual do usuário para o envio de informações, sendo estas com ou sem o consentimento do mesmo (alerta de ataque terrorista ou uma mensagem de boas vindas ao entrar em uma cidade);
- Serviços requisitados (*pull services*) – São os serviços que o usuário solicita quando o mesmo se encontra em determinado local (verificar o cinema mais próximo).

Existem diversas funcionalidades para os serviços que utilizam o posicionamento apenas como forma de verificar quais usuários serão alertados sobre determinada informação. Lojas de um Shopping Center utilizam LBS para enviar informações sobre as promoções que estão ocorrendo no momento, cinemas utilizam para enviar os horários das próximas sessões, organizadores de uma conferência enviam o local onde serão realizadas as próximas palestras etc.

Com isso verificamos que nem sempre esse tipo de serviço busca atender às necessidades apenas do usuário, mas também podem ser utilizados por empresas como forma de alertas ou envio de propaganda em massa para as pessoas dentro de uma determinada área de cobertura.

Quando se trata da implantação de LBS em ambientes *indoor*, algumas técnicas utilizam como parâmetro o posicionamento dos pontos de acesso (AP's), que muitas vezes já se encontram no ambiente, e o sinal emitido por estes. Porém deve-se pensar em estratégias diferentes das utilizadas para a localização *outdoor*, visto que vários fatores, que serão citados no Capítulo 2, influenciam na propagação deste sinal.

Muitas técnicas utilizam dois conceitos para verificar o comportamento do sinal no ambiente e depois realizar a localização: o de mapa de rádio (Youssef, Agrawala, 2004), ou de fingerprinting (FANG, LIN, LEE, 2008). Utilizar como parâmetro apenas o posicionamento dos AP's e o sinal recebido pelo DM sem considerar a perda que este pode ter sofrido durante o caminho pode gerar um erro alto na localização, mesmo que se tente adequar algumas equações existentes (LASSABE et al., 2005).

Um dos problemas encontrados na fase de estudo de referências é que a implantação de um serviço de localização em um ambiente não facilita a utilização do mesmo serviço, realizando as mesmas técnicas, em outro local, mesmo que estes possuam características semelhantes (andares diferentes de um prédio, por exemplo).

Com tecnologias consideradas precisas para a localização em ambientes *outdoor*, pesquisadores observaram que muitos serviços poderiam ser oferecidos e outros melhorados caso houvesse tecnologia semelhante para auxiliar a localização em ambientes fechados, pois facilitaria a movimentação de pessoas que chegam a um local desconhecido.

Como a maioria destes lugares é coberta por acesso a internet sem fio (empresas, escolas, museus, universidades, centro de eventos, dentre outros), pesquisadores vêm desenvolvendo técnicas de localização utilizando essa estrutura já disponível no ambiente para determinar o local aproximado de um dispositivo.

Desde o surgimento de um dos primeiros estudos baseado neste tipo de tecnologia (BAHL, PADMANABHAN, 2000), outros vêm sendo desenvolvidos e melhorados para que sejam cada vez mais adaptáveis a qualquer tipo de ambiente, porém vários problemas ainda são encontrados em algumas das técnicas mais utilizadas atualmente, tais como um trabalho inicial excessivo e

cansativo, um retrabalho custoso caso algo seja mudado no ambiente previamente estabelecido, dentre outros.

Como muitos modelos são testados em apenas um determinado tipo de ambiente, quando são implantados em outros com características diferentes, o mesmo pode acabar não funcionando como deveria, fazendo com que muitas adaptações devam ser realizadas ou até mesmo outro modelo deva ser testado. Mesmo quando implantados em locais com características semelhantes (outros andares de um mesmo prédio, outros prédios com as mesmas características), o trabalho para implantar em um andar, será o mesmo para se implantar em outros andares, não diminuindo em nada o custo de implantação.

Observando este tipo de problema, verificamos que a criação de um modelo que possa ser adaptado a ambientes semelhantes, sem que seja necessário realizar todo o trabalho novamente, especificando apenas as características dos AP's, seria viável, pois facilitaria a implantação de LBS nos mais variados tipos de locais. Para isto, devemos levar em consideração alguns fatores que influenciam na propagação do sinal eletromagnético dentro de um ambiente fechado. Estrutura física do local (tipos de paredes, portas, divisórias, existência ou não de corredores, tamanho de salas etc.) e estrutura aonde são colocados os pontos de acesso (estão livres no ambiente, dentro de caixas herméticas ou gaiolas) influenciam na propagação do sinal e na potência recebida pelo dispositivo móvel.

A criação de um modelo que trabalhe inicialmente com as características do ambiente, dos AP's e se adapte da melhor maneira em locais semelhantes ao qual já foi implantado seria ideal e é sobre isso que trata este documento.

1.3 Trabalhos Relacionados

Desde a publicação do trabalho referência da área, o Radar (BAHL, PADMANABHAN, 2000), que utilizou uma infraestrutura já disponível de AP's para que fosse implantado LBS em ambiente *indoor*, muitos outros se basearam no conceito desta metodologia, buscando aprimorá-la, procurando sempre uma melhor precisão, a diminuição do trabalho ou retrabalho realizado

dos modelos de localização em ambientes fechados que foram surgindo com o tempo.

Muitos modelos utilizam a técnica de localização criando um mapeamento prévio de RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), separando o trabalho em duas fases, denominadas *offline* e *online*. Na primeira é criando inicialmente o que chamamos de mapa de rádio, para verificar os limites dos sinais de todos os AP's no ambiente, e com qual potência o sinal de cada ponto de acesso chega a um determinado local. Esses dados são armazenados em um banco de dados. Posteriormente, na fase online, quando um dispositivo móvel recebe o sinal de vários pontos de acesso, é realizada uma consulta e uma comparação com os dados cadastrados previamente no banco para determinar a localização do dispositivo, de acordo com os dados mais aproximados das comparações.

Um grande problema da criação deste tipo de mapa e da utilização dos dados da fase *offline* para determinar a localização destes dispositivos é que, qualquer alteração nos AP's previamente estabelecidos irá alterar a área de cobertura de seu sinal no ambiente, e os dados cadastrados nesta fase. Consequentemente, deverão ser refeitas as medidas dos pontos de acesso modificados para que o modelo volte a funcionar de maneira precisa.

Alguns modelos pecam um pouco na precisão, porém buscam diminuir drasticamente o retrabalho ou até mesmo o trabalho inicial para a criação de um mapa de rádio (CHINTALAPUDI, IYER, PADMANABHAN, 2010). Deste modo, o trabalho para se implementar LBS utilizando estes fica menos custoso e mais flexível à alterações futuras no ambiente.

Nem sempre é aconselhável utilizar todos os sinais recebidos pelo dispositivo móvel para determinar sua localização (SMAILAGIC et. al., 2002). Em algumas situações, a utilização de todos os sinais recebidos diminui a precisão, aumentando a taxa de erro, pois sinais que chegam com uma potência pequena, provavelmente sofreram muitas interferências durante o percurso entre o emissor e o receptor, e atrapalham muito mais do que ajudam a determinar a localização. A utilização dos sinais recebidos com uma qualidade melhor e uma potência maior é considerada ideal. Apesar disso, não é necessário utilizar muitos deles, pois a informação de 5 AP's é considerada

suficiente para que se determine de maneira aceitável a localização de um dispositivo (SMAILAGIC et. al., 2002).

Existem equações, como a de Friis (LASSABE et al., 2005). que determinam a distância entre um ponto de acesso e um dispositivo móvel. Obtendo o sinal de 3 ou mais emissores seria possível realizar uma triangulação de sinais para determinar a localização precisa dos aparelhos (FANG, 1986). Porém, como já dito anteriormente, estamos trabalhando em ambientes fechados, que possuem várias barreiras que acabam atenuando o sinal entre o emissor e o receptor, com isso, a distância que seria informada por essa equação não corresponderia à distância real.

Para tentar a localização deste modo, Lassabe (Lassabe et al., 2005). realizou uma calibração na equação de Friis para diminuir essa diferença e utilizando-a para realizar a localização em seu ambiente indoor de testes, adaptando um coeficiente de propagação para cada ponto de acesso utilizado para determinar a localização, porém os resultados finais, apesar de terem melhorado bastante em relação a localização sem essa calibração, não foram suficientemente bons para considerar este modelo confiável, pois em várias situações mostrou-se bastante impreciso em comparação a outros.

Alguns modelos realizam a localização com certa precisão sem que seja necessário qualquer conhecimento prévio do ambiente. Porém, para que isso seja possível, algumas características iniciais devem ser atendidas para que o modelo funcione da maneira correta, o que pode não atender a todo e qualquer dispositivo móvel ou ambiente *indoor* (CHINTALAPUDI, IYER, PADMANABHAN, 2010).

Empresas como a CISCO (2007) possuem um serviço de LBS que pode ser implantado de maneira simples. Porém, para que isto seja possível, toda a infraestrutura da rede utilizada deve ser de produtos fabricados pela mesma. Com isso, caso uma das intenções da implantação do serviço seja a redução de custo, a compra de equipamento para montar uma nova estrutura não seja viável. Caso contrário é uma boa alternativa, visto a qualidade, documentação e suporte disponível pela empresa.

1.4 Organização Deste Documento

No capítulo 2 são mostrados os principais problemas encontrados quanto à propagação do sinal em ambientes *indoor*, bem como algumas técnicas de localização *outdoor*.

No capítulo 3 são apresentadas as metodologias e técnicas utilizadas para a obtenção do modelo de localização.

No capítulo 4 são apresentados todos os processos e resultados ocorridos durante o desenvolvimento, teste e validação do modelo de localização.

No capítulo 5 são apresentados todos os processos e resultados ocorridos durante o processo de validação do modelo de localização utilizando a técnica de perfis já existentes.

No capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões relacionadas ao modelo de localização, à utilização de perfis para a localização em ambientes semelhantes, sugestões de melhorias e trabalhos futuros para aprimoramento do modelo proposto.

Capítulo 2 – A Localização de Dispositivos Móveis e Seus Problemas

Apesar de ser uma área que está ganhando muito espaço nos últimos anos devido ao grande número de dispositivos móveis vendidos, existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para determinar o seu posicionamento. Apesar de possuir uma tecnologia bem definida que determina a localização com certa precisão em ambientes *outdoor*, o GPS não é a única ferramenta que pode ser utilizada para realizar essa localização, além do mais, o foco do trabalho é em ambientes *indoor*, onde o sistema de posicionamento global não se comporta de maneira adequada.

2.1 Cell-ID

É uma alternativa encontrada pelas empresas de telefonia celular para fornecer um serviço de localização para os seus usuários que não possuem aparelhos celulares munidos de GPS (INFOGPS, 2010).

A tecnologia utiliza como base para a realização dos serviços as estações emissoras de sinal, visto que essas possuem uma área de abrangência limitada e todo celular está conectado a uma dessas. A partir desta informação e sabendo-se a localização de cada emissor, a operadora consegue delimitar um raio em que o aparelho provavelmente está, limitando assim o local de procura. Levando-se em conta que o sinal recebido pelo aparelho sai com uma determinada potência da antena emissora e chega com

outra, inferior à de saída, no aparelho celular, realizam-se cálculos que auxiliam na determinação da distância provável que o usuário está da torre de transmissão (INFOGPS, 2010).

Apesar de ser uma técnica considerada simples e que não necessita de nenhuma estrutura extra para realizar a localização, pois já utiliza as antenas emissoras das companhias de telefonia celular, ela possui algumas desvantagens principalmente relacionadas à precisão, visto que apresenta uma localização aproximada que, em algumas situações, se tornam inviáveis. Outro problema encontrado é que como existem várias empresas de telefonia celular e a cobertura de sinal destas se limitam à cidades e/ou países em que atuam, o serviço de uma operadora pode não funcionar em outros locais, diferentemente do GPS, que independe do local em que você esteja (INFOGPS, 2010).

2.2 Triangulação de Sinais

É a técnica utilizada pelo GPS para determinar a localização dos dispositivos. Para isto, necessita receber o sinal de 3 ou mais emissores e calcular a distância entre o receptor e estes (FANG, 1986). A partir do momento em que se obtêm estes valores, sabe-se o raio de distância em que o DM está do emissor. Assim é realizado o processo conhecido como triangulação dos sinais como mostrado na Figura 2.1.

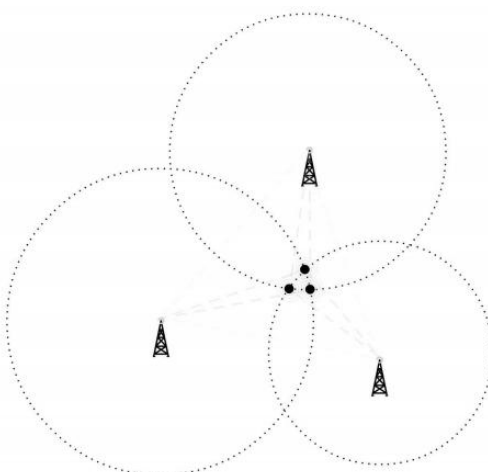


Figura 2.1. Triangulação de sinais (MOURA, 2007).

A técnica utiliza o local de interseção entre os raios gerados por todos os emissores como provável local onde o dispositivo móvel está (SÁNCHEZ, 2006). Por este motivo, quanto mais emissores existirem menor será este espaço e, conseqüentemente, o erro.

2.3 Time of Arrival (TOA) e Time Difference of Arrival (TDOA)

Estas técnicas partem do princípio da velocidade aproximadamente constante em que os sinais eletromagnéticos trafegam no espaço. A partir disto, havendo um sincronismo entre o emissor e o receptor, pode se calcular o tempo em que um sinal leva para sair da estação base e chegar ao dispositivo móvel (TOA) (ALI, OMAR, 2005). A partir dessas informações, é possível calcular a distância entre estes.

Como em algumas situações não é possível haver um sincronismo entre os DM e as estações bases, mas apenas entre as últimas, é utilizada a diferença entre o tempo de chegada dos sinais do dispositivo a ser localizado até estas estações para a realização do cálculo da distância (TDOA) (GUSTAFSSON, GUNNARSSON, 2003) e (YAMASAKI et al., 2005).

Após o cálculo da distância entre os emissores e receptores, as técnicas utilizam o processo de triangulação para determinar o local do dispositivo. O GPS é um exemplo de aplicativo que utiliza esta técnica combinada com o processo de triangulação.

2.4 Angle of Arrival (AOA)

Baseia-se no posicionamento e utilização de antenas emissoras direcionais, através das quais o dispositivo móvel necessita receber o sinal de 2 emissores para que seja efetuado o cálculo o ângulo de chegada. Linhas são projetadas entre os emissores e o receptor e os ângulos são medidos. Munido dessas informações, juntamente da distância entre os dois emissores, é possível estimar o posicionamento do DM (ZURSTRASSEN, 2003) e (MOURA, 2007).

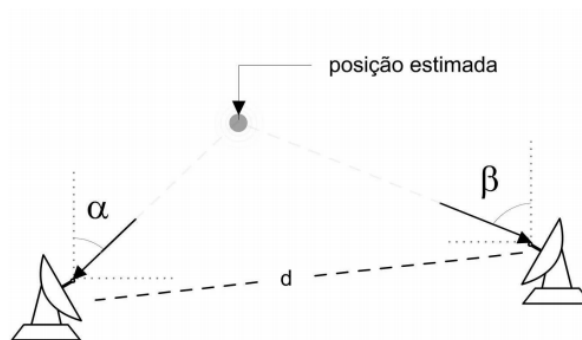


Figura 2.2. Angle of Arrival (MOURA, 2007).

2.5 Comparativo de Precisão Entre Técnicas de Localização

A Figura 2.3 apresenta um comparativo entre a precisão de vários modelos de localização existentes atualmente, alguns já citados anteriormente, seja ele para ambientes *indoor* ou *outdoor*. Nela podemos verificar que a precisão de localização aceitável utilizando WLAN é de 10 metros em, no mínimo, 67% das situações, seja em ambientes *indoor* ou *outdoor*. Utilizaremos este valor como parâmetro para os nossos testes e validação do modelo.

	LBS Type	Location Accuracy (67%)	Implementation Cost	Time To Fix	Coverage	Technology Standard	Handset Requirements	Network Requirements
Cell ID	Network Based	300m-20km	Low	Fast	Moderate	GSM	None	None
Cell ID - Signal strength	Network Based	250m-12km	Moderate	Fast	High	GSM	None	Hardware Modifications
Cell ID - TA/RIT	Network Based - Handset Assisted	200m-11km	Moderate	Fast	High	GSM	None	Software Modifications
AOA	Network Based	100-200m	Moderate	Moderate	Good (Multipath Prop issues)	GSM	None	Hardware & Software Modifications
TOA	Network Based - Handset Assisted	50-200m	Low	Moderate	Good (Multipath Prop issues)	GSM	None	Hardware & Software Modifications
E-OTD	Handset Based - Network Assisted	50-125m	High	Moderate	Good (Multipath Prop issues)	GSM	Software Modifications	Addl Hardware and Software (LMU)
O-TDOA	Handset Based - Network Assisted	20-200m	High	Moderate	Good (Multipath Prop issues)	UMTS	Software Modifications	Addl Hardware and Software (LMU)
EFLT/AFLT	Network Based	30-350m	Moderate	Moderate	Good (Multipath Prop issues)	CDMA	Software Modifications	Minor Modifications
GPS	Handset Based	30-80m	Low	Slow	Moderate in urban, High in Rural & suburban	All	Addl HW and Software	Addl Hardware and Software (LMU)
AGPS	Network Based - Handset Assisted	5-50m	Moderate	Moderate	Variable	CDMA/EVDO	Addl HW and Software	Addl HW and Software
WLAN/RF Fingerprinting	Network Based	10m (Indoor / outdoor)	Moderate	Moderate	Good	-	-	Software and Hardware

Figura 2.3. Comparativo entre várias técnicas de localização (SHAH, 2010).

2.6 O Problema da Propagação do Sinal em Ambientes *Indoor*

Muito se tem estudado e desenvolvido sobre técnicas para determinar a localização de dispositivos móveis, sejam estas técnicas para ambientes *indoor* ou *outdoor*. Porém nem sempre quem deseja implantar um serviço como este está apto a cobrir os custos, muitas vezes elevados, com equipamentos. Por este motivo, algumas técnicas foram surgindo para resolver este problema. Algumas delas utilizam a própria infraestrutura de AP's, muitas vezes já disponíveis em locais como hospitais, aeroporto, universidades, museus etc., como base para a realização de LBS.

Desde o surgimento dos primeiros estudos relacionados com este conceito (BAHL, PADMANABHAN, 2000), muitos cientistas estudam meios de realizar a localização de dispositivos em ambientes fechados, buscando sempre uma precisão aceitável.

Essas técnicas utilizam como meio para determinar a localização dos DM um cadastro prévio de todos os AP's disponíveis no ambiente de teste e, a partir dessas informações, utilizam o sinal enviado por estes e recebido pelo dispositivo para realizar o cálculo da distância entre os mesmos. Existem equações como a de Friis (LASSABE et al. 2005) que determinam a distância entre um emissor e um receptor através da potência do sinal que o último recebeu do primeiro. Porém, como estamos lidando com um ambiente propício a interferências, este valor estimado provavelmente estará incorreto, acarretando assim um erro na hora de determinar o posicionamento do DM no ambiente.

Durante a propagação no espaço o sinal sofre alterações, denominadas atenuações, em seu comportamento, devido a fatores como a reflexão, refração, difração e dispersão. Barreiras como portas, janelas, paredes, divisórias, dentro outras, muito comuns em qualquer ambiente fechado, causam estas alterações no sinal, fazendo com que o mesmo não chegue com a potência esperada a uma determinada distância.

2.6.1 Atenuação do Sinal

Todo sinal que percorrer o caminho entre o emissor e o receptor sofre uma atenuação natural causada pelo meio de propagação (FARIAS, 2006). Porém outros fatores, tais como os obstáculos entre estes podem aplicar uma atenuação além do padrão (PERES, 2010).

Cada obstáculo ultrapassado durante a sua propagação afeta o sinal de uma maneira diferente devido ao material que compõe o mesmo, a Tabela 2.1 mostra o grau de atenuação provocado por diferentes obstáculos, enquanto a Figura 2.4 demonstra o processo de atenuação do sinal com obstáculo e sem obstáculo.

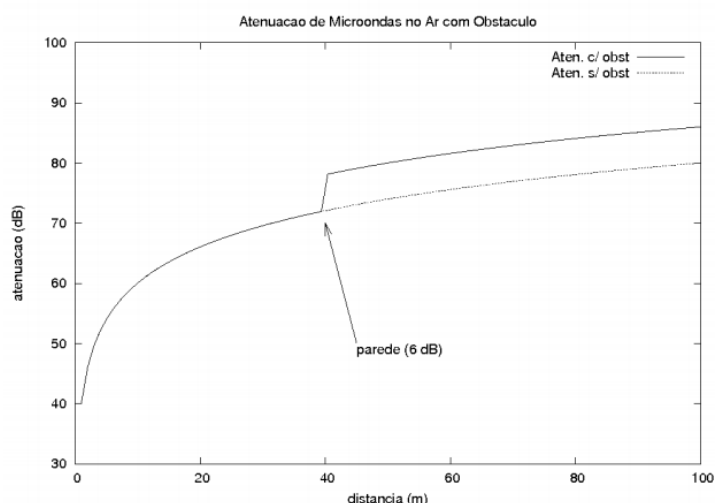


Figura 2.4. Atenuação do Sinal (Peres, 2010).

Material	Atenuação
Janela em parede de tijolo	2 dB
Porta de vidro com estrutura metálica em prédio	6 dB
Parede de escritório	6 dB
Porta de metal em parede de escritório	6 dB
Parede de bloco de concreto	4 dB
Porta de metal em parede de tijolo	12.4 dB
Parede de tijolo perto porta de metal	3 dB

Tabela 2.1. Grau de atenuação de vários obstáculos (HÅKEGÅRD, 2005).

RAPPAPORT (2009) cita que apesar de ambientes *indoor* possuírem diversas características internas que dificultam a propagação do sinal no

ambiente, pesquisadores já formaram uma extensa lista contendo a perda para uma grande variação de objetos.

2.6.2 Reflexão

Quando um sinal chega a um determinado obstáculo de superfície reflexiva do qual ele não consegue ultrapassar, o mesmo será refletido, mudando o seu percurso original (FARIAS, 2006) e (PERES, 2010).

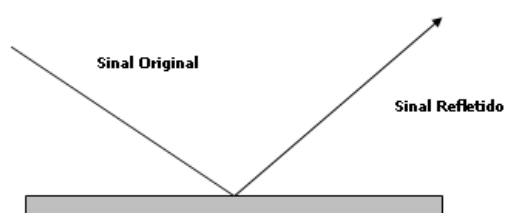


Figura 2.5. Reflexão do Sinal (FARIAS, 2006).

2.6.3 Refração

Acontece quando um sinal ultrapassa de uma superfície para a outra, sendo que essas possuem densidades diferentes. Quando isso ocorre, o sinal sofre o que chamamos de difração. Consequentemente, muda a sua direção original (PERES, 2010) e (FARIAS, 2006)..

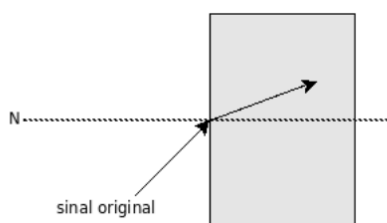


Figura 2.6. Refração do Sinal (PERES, 2010).

2.6.4 Difração

O processo de difração ocorre quando o sinal encontra um obstáculo de tamanho insuficiente para bloqueá-lo e pelo qual não consegue ultrapassar,

porém pode contornar, mudando assim sua direção original (PERES, 2010) e (FARIAS, 2006).

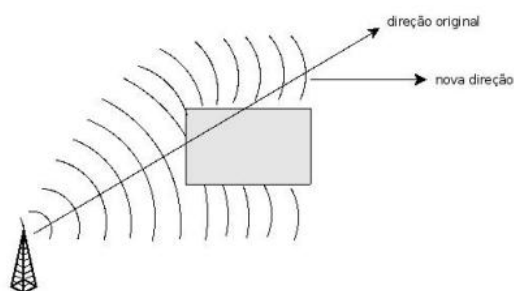


Figura 2.7. Difração do Sinal (PERES, 2010).

2.6.5 Dispersão

Acontece quando o sinal propagado no ambiente se depara com uma superfície muito irregular e o mesmo é refletido em várias direções (PERES, 2010) e (FARIAS, 2006).

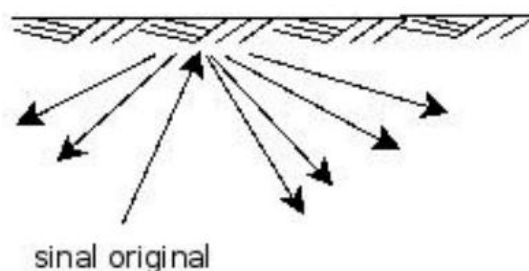


Figura 2.8. Dispersão do Sinal (PERES, 2010).

2.7 A Importância da Verificação do Comportamento do Sinal

Observados os fatores que influenciam o comportamento do sinal eletromagnético, é importante verificar o real comportamento deste em um ambiente *indoor*, visto que estes locais possuem vários obstáculos que fazem com que o sinal sofra os diversos tipos de atenuações citadas anteriormente. Visto isso, para a criação de nosso modelo de localização, foi realizado um mapeamento para verificar o comportamento dos sinais dos AP's dentro de nosso ambiente. Os resultados apresentados, bem como o funcionamento de nosso modelo serão apresentados no próximo capítulo.

Capítulo 3 – O Modelo de Localização

A necessidade e a importância da implantação de LBS em ambientes *indoor* no mundo atual vem crescendo cada vez mais, devido à facilidade que este tipo de serviço proporciona aos seus usuários. Estudantes em seu primeiro dia de aula em uma universidade, participantes de simpósios, visitantes de museus, dentre outros são alguns dos exemplos citados anteriormente de pessoas que chegam a um ambiente no qual, na maioria das vezes, não se possuem qualquer tipo de conhecimento prévio e, em sua grande maioria, ficam perdidos para se localizar e, conseqüentemente, encontrar o local aonde desejam chegar.

Esta falta de conhecimento faz com que um bom tempo que poderia ser mais bem usufruído, acaba sendo gasto e desperdiçado com este tipo de problema, que poderia ser facilmente resolvido caso a pessoa possuísse uma ferramenta que o guiasse dentro deste local e o levasse ao destino desejado, sem muito custo, esforço e perda de tempo.

Devido ao problema apresentado e à demanda de mercado para a resolução deste, existem muitos estudos e muitas maneiras de se resolvê-lo. Porém, para isso, devem ser levantadas várias questões, tais como custo inicial e total, tempo de implantação, custo e tempo de reimplantação, caso seja necessário, se algo no ambiente inicial mudar (as características do local, posicionamento dos AP's, dentre outros). Essas questões variam de ambiente para ambiente, por isso não podemos considerar que um tipo de implementação que foi testada e bem aceita em um determinado local pode ser considerada a ideal para outro, pois cada caso é um caso e deve ser tratado como tal.

Para a redução do custo total de implementação, uma das maneiras de se realizar esse tipo de serviço é, devido à maioria destes locais já possuírem uma estrutura prévia de pontos de acesso disponível no ambiente, utilizar esta infraestrutura de equipamentos como meio para determinar a localização.

Todos os AP's emitem um sinal com uma determinada potência que pode ser captado por qualquer equipamento que possua uma antena receptora. O sinal sai de cada aparelho com um valor inicial e, à medida que se propaga no ambiente, este valor vai diminuindo até que não seja mais possível captá-lo, a partir de uma determinada distância. Com isso, sabendo os valores de sinais recebidos, quem os emitiu e a localização destes no ambiente, podemos utilizar alguns dos modelos existentes que permitem determinar a distância que estamos destes pontos de acesso e, conseqüentemente, a nossa localização dentro de determinado local.

Porém, muitos destes modelos são específicos para ambientes com determinadas características, outros são muito custosos para a implantação quando se trata de locais com um espaço físico muito grande, outros não são aconselhados caso o ambiente possa sofrer alterações futuras, devido ao alto custo de retrabalho que este ocasionará.

Isto faz com que o surgimento de um modelo que possa ser adaptado em ambientes no qual já se tenha um conhecimento inicial através de implantações de LBS realizadas em locais semelhantes seja considerado ideal, visto que muitos dos problemas citados anteriormente seriam sanados com este tipo de solução. Nossa proposta segue este caminho, fazendo com que, comparadas as características iniciais do ambiente a ser implantado, com um local de características semelhantes que já possua o serviço, o modelo possa ser adaptado sem a necessidade de se realizar um novo estudo, utilizando os princípios do ambiente anterior para se ajustar da melhor maneira possível, apresentando uma localização aceitável dentro de um ambiente *indoor*.

3.1 O Problema

A utilização de sinais de pontos de acesso sem fio para a implantação de serviços de LBS em ambiente *indoor* vem sendo estudada há um bom tempo, pois além de aproveitar a estrutura já disponível para implantar o serviço, o

custo com equipamentos é praticamente nulo, pois todos já estão alocados previamente no local.

Apesar das facilidades que esse tipo de estrutura pré-existente nos dá, existem vários fatores que são considerados problemas para a implantação de LBS neste tipo de ambiente usando estas tecnologias. O sinal dos Ap's, a medida que se propaga no ambiente, sofre atenuação. Esta depende do obstáculo que o sinal terá que contornar e do tipo de material que o mesmo é feito, pois cada um trata o sinal de uma maneira diferente. Portas, paredes, vidros, divisórias, dentre outros são obstáculos comuns em ambientes como escola, museus, empresas etc., e cada um destes aplica uma atenuação diferente no sinal, dependendo do material que for construído, sua espessura etc. Portanto não podemos considerar sempre a mesma perda para todos os obstáculos, pois isto não é o que acontece na realidade e com certeza afetaria na precisão de nossa localização.

Da mesma maneira que não podemos considerar a mesma perda para todos os objetos, não podemos considerar que os fatores de atenuação de sinal em um determinado ambiente sejam os mesmos para locais diferentes, pois cada um possui suas características e o sinal provavelmente irá se propagar de maneira diferente em ambientes diferentes. Outro problema a ser considerado é que, em alguns locais, os AP's são colocados dentro de caixas herméticas ou gaiolas, para evitar furtos ou que pessoas não autorizadas tenham contato. Isto deve ser considerado, visto que o sinal que sairá deste emissor já terá uma perda inicial, pois sofrerá uma atenuação para ultrapassar de dentro para fora da caixa, porém existem ambientes que possuem tanto AP's "livres" como "presos", e isto deve ser tratado.

Qualquer que seja o modelo a ser utilizado para a realização de LBS, deve levar-se em consideração todos os fatores citados anteriormente, pois influenciarão na potência do sinal que chegará ao aparelho receptor. Caso isso não seja tratado, ao se calcular a distância entre o emissor e o receptor, é provável que esta apresente uma diferença considerável entre a calculada e a real.

Existem modelos atualmente que podem ser implantados em vários tipos de ambientes, com características diferentes, porém, mesmo que você saiba como o mesmo funciona em um determinado local, ao migrar para outro com

características semelhantes, o trabalho a ser feito para a implantação será o mesmo, não facilitando em nada o conhecimento prévio adquirido.

Nosso modelo propõe um entendimento inicial do mesmo e, a partir do momento em que se saiba como ele faz para realizar a localização dos dispositivos em um determinado ambiente, ao migrar o modelo para um local parecido, seja necessário apenas um conhecimento deste (disposição dos AP's) e realizar pequenas adaptações para que se possa ter uma localização com precisão aceitável em um lugar novo, mas com características semelhantes à do anterior. Isso diminui o trabalho, para as pessoas que já dominam o modelo, na implantação do mesmo em outros locais.

3.2 Área de Testes e Preparação do Projeto

Inicialmente foi estudado o comportamento do sinal dentro de nosso ambiente de testes, como o mesmo se propaga em salas, corredores, locais abertos e fechados. Com esses estudos, observamos o que pode e como pode influenciar na propagação do sinal que sai de cada ponto de acesso. Para isto, algumas coletas iniciais de dados foram realizadas. (Mais detalhes sobre os locais de coletas e dos AP's podem ser encontrados no Apêndice A).

O local utilizado para nossos testes foi o 4º andar do Centro de Ciências Exatas (CCE) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que possui 126 metros de comprimento por 20,4 de largura. No local existem quatro pontos de acessos que são identificados na Figura 3.1 com um triângulo preto, seguido de sua descrição. Os locais aonde foram realizadas as medições estão identificados com um círculo em vermelho seguido também de sua descrição.

Algumas modelos utilizam técnicas como a de *Fingerprinting* (KAEMARUNGSI, KRISHNAMURTHY, 2004), que busca a coleta de informações dos sinais de poucos em poucos metros, para uma futura comparação. Outras (YOUSSEF, AGRAWALA, SHANKAR, 2003), (YOUSSEF, AGRAWALA, 2003) E (ZHANG, M., ZHANG) realizam o que chamamos de mapa de rádio, onde o trabalho é dividido em duas fases: *offline* e *online*, sendo a primeira responsável pela coleta das informações no ambiente de teste e a segunda em que são realizadas as comparações para determinar o posicionamento do DM.

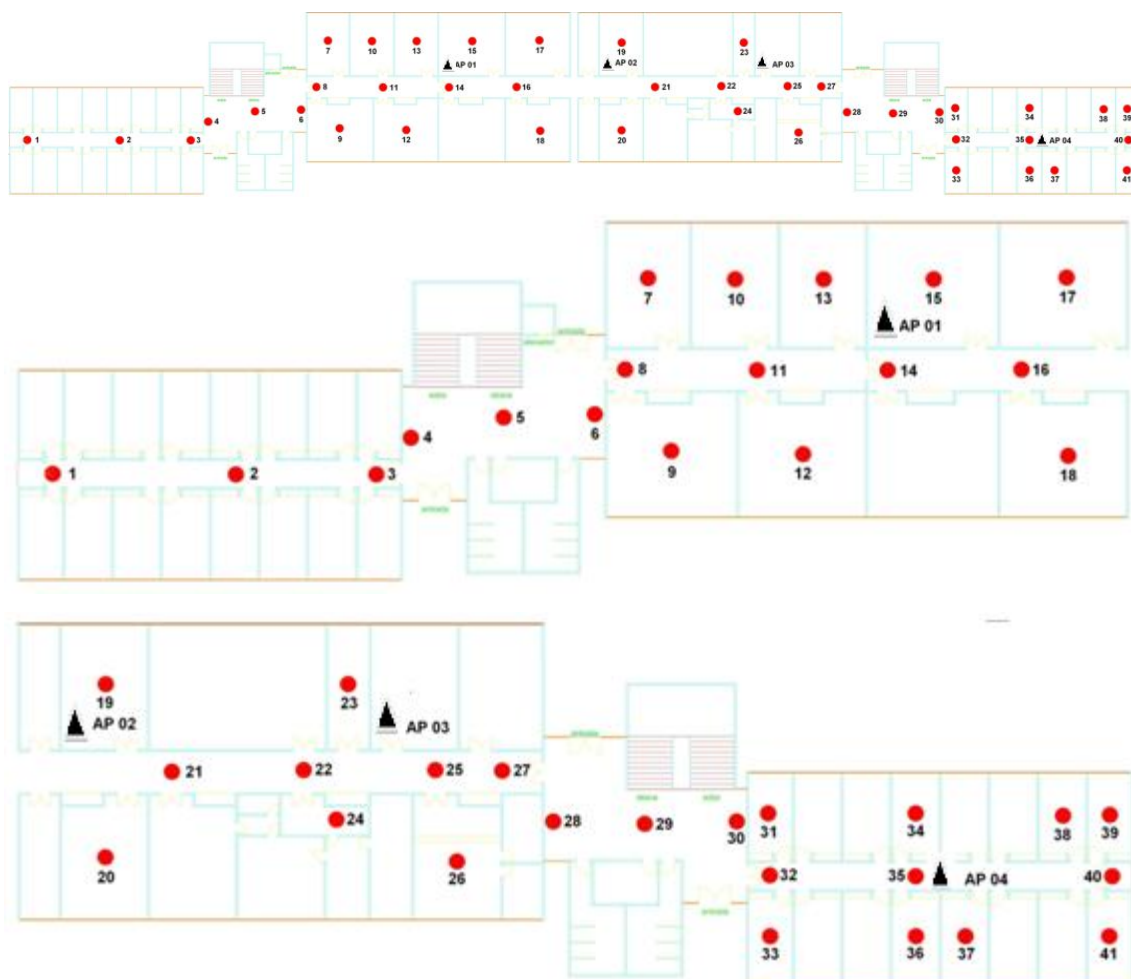


Figura 3.1. Mapa completo do 4º andar (acima), primeira metade do mapa (centro) e segunda metade do mapa (abaixo), com os locais das medidas e os AP's identificados.

Algumas modelos utilizam técnicas como a de *Fingerprinting* (KAEMARUNGSI, KRISHNAMURTHY, 2004), que busca a coleta de informações dos sinais de poucos em poucos metros, para uma futura comparação. Outras (YOUSSEF, AGRAWALA, SHANKAR, 2003), (YOUSSEF, AGRAWALA, 2003) E (ZHANG, M., ZHANG) realizam o que chamamos de mapa de rádio, onde o trabalho é dividido em duas fases: *offline* e *online*, sendo a primeira responsável pela coleta das informações no ambiente de teste e a segunda em que são realizadas as comparações para determinar o posicionamento do DM.

Em nosso modelo, buscamos uma mescla entre estes dois conceitos, realizando a coleta de informações em apenas alguns pontos do mapa, e no

máximo em um ponto dentro de cada local (em geral, quando realizados dentro de salas, as medidas foram feitas no centro da mesma). Nos locais aonde não foram realizadas as medições, o comportamento do sinal foi simulado de acordo os dados medidos nos outros. Foi realizada uma interpolação dos dados e gerado o comportamento provável do sinal em todo o ambiente. Para isto, foi utilizado o método de interpolação Kriging (OLIVER, WEBSTER 1990), que parte do princípio de que os pontos que estejam próximos no espaço tendem a possuir valores mais semelhantes do que os mais distantes. Esta técnica parte do princípio de que os dados medidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço.

Após analisar como o sinal de cada AP se comportava dentro de nosso ambiente de teste, é possível verificar quais fatores internos estão influenciando no comportamento do mesmo. Esses fatores provavelmente serão os mesmo que influenciarão em um local com características semelhantes.

3.2.1 Medições

O primeiro passo realizado durante o processo de desenvolvimento do modelo foi identificar todos os pontos de acesso situados em nosso ambiente inicial de teste, o 4º andar do CCE da UFV. Determinada a localização de cada ponto e marcando sua localização na planta baixa do andar, identificamos também a maneira como estes estavam dispostos em suas respectivas salas. Ao todo foram localizados e identificados 4 emissores, que passaremos a identificar, da esquerda para a direita, na Figura 3.1, como AP 01, AP 02, AP 03 e AP 04.

O AP 01 está localizado no laboratório de informática do curso de graduação em Ciência da Computação. Ele encontra-se dentro de uma caixa hermética. O AP 02 está localizado no laboratório de pós-graduação, e encontra-se em cima de uma mesa, sem nenhum outro obstáculo inicial. O AP 03 está localizado dentro do laboratório de estatística e encontra-se dentro de uma caixa hermética, porém foi realizada uma adaptação nesta caixa para que a antena ficasse disposta fora da mesma, para facilitar a propagação do sinal e evitar a atenuação inicial que seria aplicada por esta. O AP 04 está localizado

no corredor dos gabinetes dos professores da Ala B, dentro de uma viga de sustentação do prédio, que é feita de aço.

Sabendo da disposição inicial de todos os AP's, várias medidas foram realizadas em vários pontos do andar. Os locais destas estão identificados com um ponto vermelho na Figura 3.1. Em cada local foram realizadas 200 medições, com um intervalo de 100 milissegundos entre uma e outra. Estes valores foram considerados ideais em nossos testes, pois representaram o melhor custo/benefício quanto à implantação do projeto. Após o término da coleta em todos os pontos, possuíamos o mapeamento dos sinais de quais AP's chegavam a cada local medido.

Como foram realizadas 200 medições em cada local e nem sempre em todas elas eram identificados os sinais dos AP's, verificamos quantas vezes o mesmo havia sido percebido, qual o valor de RSSI em cada, tiramos a média e utilizamos o resultado como o valor do sinal deste ponto de acesso para aquele local. Por exemplo, em um local onde foram realizadas 200 medições, o sinal do AP 01 foi recebido 70 vezes com potência de -56 dbm, 50 vezes com potência de -58dbm, 30 vezes com potência de -62dbm, ou seja, das 200 medidas, o sinal foi identificado apenas em 150. Somando todas as medidas e dividindo pela quantidade de vezes que foi identificado, o valor do sinal do AP 01 para este ponto seria de -57,87 dbm. Este processo foi realizado em todos os locais e para todos os AP's identificados no mapa da Figura 3.1.

3.2.2 Simulações

Após a realização de todas as medições temos, para cada um dos pontos identificados na Figura 3.1, o sinal de qual AP chega nestes locais e quais suas prováveis potências. Porém, existem outros onde os sinais não foram medidos, mas precisamos saber qual é a provável potência em que o sinal de determinado emissor chegará lá. Para isto foi realizado uma interpolação destes dados e simulado o provável comportamento do sinal em todo o nosso ambiente de teste. Esta simulação foi realizada para todos os AP's utilizando o software *Surfer 9*, da *Golden Software* (Mais detalhes sobre os resultados das simulações do comportamento do sinal de cada AP em nosso ambiente de teste podem ser encontrados no Apêndice B).

Analisando os resultados obtidos, observamos a provável área de cobertura de cada AP dentro do 4º andar do CCE e seus respectivos valores de potência do sinal nos mais variados locais. A Figura 3.2 mostra o comportamento provável do sinal do AP 01, simulado de acordo com os valores das potências de sinais medidos nos pontos identificados na Figura 3.1.

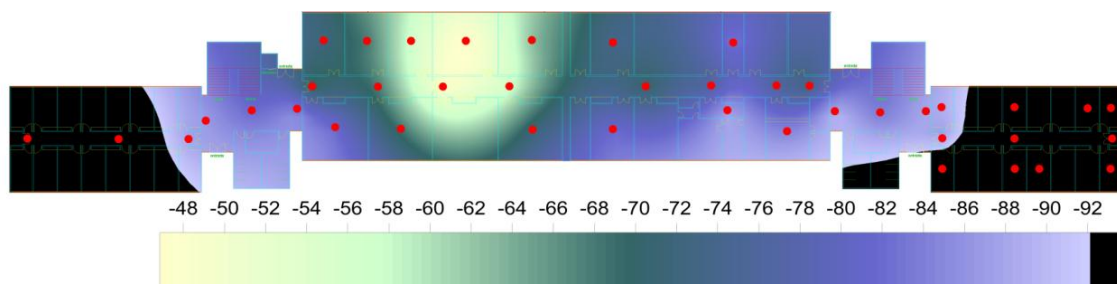


Figura 3.2. Simulação do comportamento do sinal do AP 01 em todo o ambiente.

3.2.3 Gráficos e Equações

Com os resultados das simulações do comportamento do sinal de todos os AP's registrados, o próximo passo é verificar qual é a relação entre os sinais recebidos, a distância entre o local onde este foi medido e o local aonde se encontra o emissor. Para isto, criamos para cada ponto de acesso um gráfico como o mostrado na Figura 3.3 para verificarmos qual é a relação entre a distância real deste e o sinal recebido pelo dispositivo móvel. Para a geração dos gráficos e das equações, foram utilizados os softwares *Mathematica 7*, da *Wolfram Research* e o *Origin 8*, da *OriginLab* (Mais detalhes sobre os gráficos gerados para cada AP em nosso ambiente de teste podem ser encontrados no Apêndice C).

Através dos resultados apresentados nos gráficos, foi gerada para cada emissor uma equação para estimar a provável distância entre este e o receptor. Para esta equação deve ser passado como parâmetro o sinal recebido (em dbm).

Diferentemente de trabalhos anteriores que geraram uma única equação e a utilizou para todos os emissores (SMILAGIC et. al., 2002), verificamos que isso nem sempre é viável, pois as características do ambiente e principalmente a disposição dos AP's no ambiente podem fazer com que a utilização de uma

única equação deixe o nosso modelo com uma precisão não aceitável. Possuindo um meio de calcular esta distância, podemos, a partir da recepção do sinal de 3 ou mais pontos de acesso, realizar o processo de triangulação para identificarmos a provável localização do dispositivo móvel em nosso ambiente, porém nem sempre é possível identificar este número mínimo de sinais e, conseqüentemente, a triangulação.

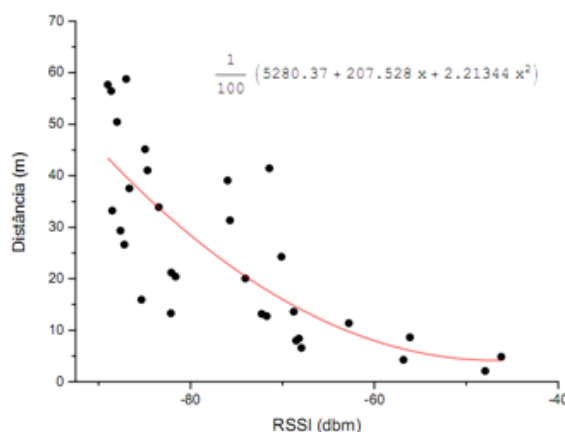


Figura 3.3. Gráfico da relação Distância x RSSI e a equação para o AP 01.

3.3 O Funcionamento do Modelo de Localização

O modelo proposto necessita apenas da potência do sinal para realizar a localização. A primeira tarefa do algoritmo, apresentado na Figura 3.4, é, a partir do momento em que o usuário deseja saber o local aonde se encontra, realizar algumas medições para verificar os sinais de quais pontos de acesso estão sendo identificados e com qual potência os mesmos chegam até o local.

Sabendo que o sinal pode sofrer atenuações de acordo com o que está acontecendo no momento, verificamos que realização de apenas uma medição e o envio deste valor como parâmetro para o algoritmo pode ser prejudicial, visto que este pode ter sofrido atenuações não esperadas. Por este motivo o modelo realiza um total de 20 medidas com um intervalo de 100 milissegundos. Disposto destes valores, calcula o RSSI médio para cada AP identificado nas medidas.

Essa quantidade de medições foi considerada a de melhor custo/benefício em relação à precisão de localização e tempo de espera do usuário. Sendo assim, passamos a utilizar a média dos valores medidos como

o parâmetro de potência do sinal recebido pelo dispositivo móvel. Este é o valor que o algoritmo utiliza em seu próximo passo.

```

algoritmo
  para cada medida faca
    Capturar o RSSI das redes alcançáveis;
  fimpara
  Calcular o RSSI médio para cada rede detectada;
  Estimar a distância utilizando a sua equação;
  para cada rede detectada faca

$$\varepsilon_i = \frac{\max(\delta(AP)_i)}{\delta(AP)_i}$$

  fimpara
  para cada ponto do mapa faca
    se o ponto não pode ser candidato
      entao

$$E_j = \text{Infinito};$$

      senao

$$E_j = \sum_i (|d(j, AP_i) - \delta(AP_i)| \cdot \varepsilon_i)$$

      fimse
    fimpara
  Identificar o PONTO_CANDIDATO;
fim algoritmo

```

Figura 3.4. Algoritmo em alto nível do modelo de localização.

Onde:

$$\varepsilon_i = \frac{\max(\delta(AP)_i)}{\delta(AP)_i}$$

- i é o número do AP;
- ε_i é o fator de prioridade para o AP_i ;
- $\delta(AP)_i$ é a distância estimada do ponto a ser localizado até o AP_i usando sua respectiva equação;
- $\max(\delta(AP)_i)$ é a maior distância estimada entre o ponto a ser localizado e todos os AP's.

$$E_j = \sum_i (|d(j, AP_i) - \delta(AP_i)| \cdot \varepsilon_i)$$

- j é o local atual a ser verificado no mapa;
- E_j é o erro total para local atual;
- $d(j, AP_i)$ é a distância real entre o local atual e o AP_i ;
- $\delta(AP_i)$ é a distância estimada do local a ser localizado até o AP_i usando sua respectiva equação;
- ε_i é o fator de prioridade para o AP_i .

$$E_j = \text{Infinito}$$

- E_j é o erro total para local atual;
- Infinito é um valor alto estipulado que nunca será o menor entre os valores a serem minimizado.

O algoritmo verifica quais foram os AP's detectados na medida e qual é o RSSI médio para cada um. Após isso, utiliza as equações de estimação de distância, geradas anteriormente para cada um, tornando possível estimá-las entre o local de realização das medidas e os pontos de acessos identificados.

Um fator relevante a ser considerado é que os sinais identificados durante as medições que possuem um RSSI maior são mais relevantes do que os outros, pois é provável foram emitidos por AP's que estão mais próximos do local onde estamos e provavelmente sofreram menos interferência durante o seu trajeto. Para isto, nosso modelo utiliza o que denominamos de fator de prioridade, para dar prioridade a esses sinais recebidos em relação aos outros.

Segundo Smailagic (SMAILAGIC et. al., 2002), um dos fatores que piora a precisão de um modelo de localização é quando o receptor recebe, de um ou mais AP's, um sinal com uma potência fraca. Isso acaba prejudicando na hora de determinar a localização do dispositivo. Por isso resolvemos considerar este fator para dar prioridade a sinais que chegavam com uma potência mais forte, pois o provável local onde estará o dispositivo será mais próximo do emissor deste sinal do que do emissor de um que chegou com uma potência mais fraca. Isto pode ser observado também no gráfico da Figura 3.3, que mostra que distâncias menores possuem valores de potências maiores.

Após estimar as distâncias para cada AP, o cálculo do fator de prioridade é o próximo passo a ser executado pelo algoritmo. Este fator é calculado fazendo uma relação entre as distâncias estimadas para cada ponto de acesso identificado na medida. Para isto, o algoritmo seleciona a maior distância estimada dentre todas as calculadas e divide esse valor pela distância estimada para cada AP, ou seja, o que estimou a maior distância terá o seu fator de prioridade igual a 1, pois o dividendo e o divisor serão os mesmos valores. Já para aqueles com distâncias estimadas menores, o resultado será um valor maior do que 1, pois o dividendo será o valor da maior distância estimada entre todos os pontos de acesso e o divisor será a distância estimada para ele. No final, o AP que possuir o maior valor de fator de prioridade será aquele que teve a menor distância estimada, ou seja, é provavelmente o que teve o maior valor médio de RSSI e mais certo que o local a ser localizado esteja mais próximo deste emissor.

Vamos supor a seguinte situação: um dispositivo que deseja saber sua localização atual recebe o sinal de 3 AP's, AP 01, AP 02 e AP 03. Jogando estes valores em suas respectivas equações, estimou-se os seguintes valores de distâncias para os seguintes emissores:

- AP01 tem distância estimada de 2000 cm.
- AP02 tem distância estimada de 3000 cm.
- AP03 tem distância estimada de 1000 cm.

Portanto, a maior distância estimada foi 3000 cm, para o AP02. Este valor será o dividendo para calcular nosso fator de prioridade para todos os pontos de acesso, e o divisor será o valor estimado para cada emissor. Sendo assim, teremos os seguintes valores:

- AP01: $3000/2000 = 1,5$.
- AP02: $3000/3000 = 1$.
- AP03: $3000/1000 = 3$.

Ou seja, o último teve o maior fator de prioridade dentre os 3, portanto é mais provável que estejamos mais próximo deste do que dos outros AP's.

Sabendo os pontos de acessos identificados e suas respectivas localizações em nosso ambiente, estimada a provável distância que estamos de cada um deles e o fator de prioridade a ser utilizado para cada AP. O próximo passo do algoritmo é determinar a localização do dispositivo. Para isto, dividimos nossa área de teste em pontos, separados de metro em metro, e para cada um destes é verificada a possibilidade de o dispositivo estar lá.

O objetivo a ser alcançado com isso é percorremos nosso ambiente de teste, de metro em metro e minimizamos esses valores, ou seja, verificamos qual destes locais possui o menor erro total entre a distância estimada pela equação e a distância real para todos os AP's identificados, de acordo com as suas respectivas equações, multiplicadas pelos seus fatores de erro. O local que possuir o menor erro total, somando os erros para todos os pontos de acesso, é considerado o provável local da medida.

Vamos supor que os locais P1 e P2, possuem os seguintes valores para distância real:

- P1
 - AP 01 - real 2100cm e estimada 2000cm;
 - AP 02 - real 3150cm e estimada 3000cm.
 - AP 03 - real 1300cm e estimada 1000cm.

- P2
 - AP 01- real 2250cm e estimada 2000cm;
 - AP 02 - real 3250cm e estimada 3000cm;
 - AP 03 - real 1100cm e estimada 1000cm:

Para o AP 01, o fator de prioridade calculado anteriormente foi de 1,5. Assim o erro para P1 ficaria $100 * 1,5 = 150$ e para P2 ficaria $250 * 1,5 = 375$. Já para o AP 02, o fator calculado foi 1, sendo assim, o erro para P1 seria $150 * 1 = 150$, já para P2 seria $250 * 1 = 250$. Para o AP 03, o fator de prioridade foi 3, portanto o erro para P1 seria $300 * 3 = 900$, mas para P2 seria $100 * 3 = 300$. Sendo assim, somando todos os valores de erro calculado, teríamos os seguintes erros totais:

- $P1 = 150 + 150 + 900 = 1200$.
- $P2 = 375 + 250 + 300 = 925$.

Como o nosso objetivo é minimizar esse erro e identificar como provável local o ponto com o menor erro total calculado, neste nosso exemplo afirmaríamos que o dispositivo móvel estaria em P2.

Observamos que o fator de prioridade 3 para o AP 03 foi fundamental para determinar qual seria o provável local do dispositivo, pois como foi o emissor que teve a menor distância estimada, e provavelmente a maior potência de sinal recebida pelo dispositivo móvel, partimos do princípio que estamos mais próximo deste AP do que dos outros. Caso contrário, se considerássemos apenas a diferença entre a distância estimada e a real, o local candidato seria o P1.

Nossa área total de teste possui 126 metros de comprimento por 20,4 de largura e percorremos a mesma de metro em metro, de acordo com o padrão de coordenadas apresentado na Figura 3.5, para verificar qual dessas possui o menor erro total. Porém existem alguns setores em que é impossível o usuário estar, pois não existe área construída no mesmo.

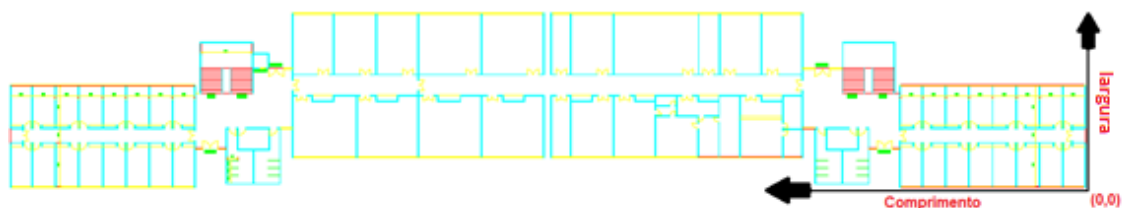


Figura 3.5. Padrão de coordenada de busca.

Observando isso, verificamos que dois fatores podem fazer com que um ponto não seja considerado pelo nosso modelo um provável local em que a medida foi realizada. O primeiro destes é que o ponto não esteja dentro de nosso ambiente de teste, ou seja, o 4º andar do CCE da UFV. O Segundo envolve um dos passos iniciais de nosso projeto, que foi simular o comportamento do sinal dentro de nosso ambiente para verificarmos o provável local até aonde chega o sinal de cada AP utilizado. Assim sabemos a área de cobertura de cada um deles. Com isso, caso seja realizada uma medição e não seja identificado o sinal de determinado ponto de acesso, podemos considerar

que o local provável onde esta foi feita está fora da área de cobertura do mesmo, ou seja, diminuimos consideravelmente os locais e o número de pontos a serem considerados candidatos pelo algoritmo de localização.

Apesar das simulações apresentarem o provável comportamento do sinal nos locais aonde não realizamos medições, medimos e verificamos, para cada AP, todos os locais onde teoricamente não existe cobertura de sinal, para que pudéssemos ter mais segurança na hora de afirmarmos que, a partir de determinado ponto do mapa, é certo que a medida não foi realizada.

Considerar a área de cobertura dos AP's contribui também em outra situação que é considerada problemática por vários autores e modelos de localização, tanto *indoor* quanto *outdoor*, que são aquelas em que não identificamos, no mínimo, o sinal de 3 pontos de acesso. Nestes casos, para modelos que utilizam a triangulação de sinal, esta fica deficitária, pois podemos ter mais de um local candidato e, em nosso caso, vários pontos podem possuir erros iguais. Porém, a partir do momento em que consideramos também os pontos de acesso que não são identificados nas medidas e um fator de prioridade, eliminamos, na maioria das situações, esse tipo de problema, pois diminuimos o nosso número de pontos a ser verificados, ou seja, torna o modelo mais rápido para determinar a localização.

Caso um local do mapa seja identificado como impossível de o dispositivo estar, nosso modelo adiciona ao erro total deste o que chamamos de valor infinito e já passa para o próximo para realizar a mesma verificação. Caso contrário, o algoritmo calcula seu o erro total.

Com as informações das distâncias entre o local atual e cada AP identificado, é iniciado o processo para calcular qual é o seu erro total. Para isto, o algoritmo verifica, para cada ponto de acesso, a diferença entre a distância real e a distância estimada anteriormente pela respectiva equação. Este resultado é multiplicado pelo fator de prioridade deste ponto de acesso. O mesmo processo é realizado para os outros emissores identificados na medida. Assim que for verificado o erro para todos os AP's, os valores são somados e consideramos o resultado final sendo o erro total deste local.

Este processo é realizado para todos os locais que são considerados possíveis de a medida foi realizada. Após isso, o algoritmo realiza sua última tarefa, que é verificar qual destes possui o menor valor de erro total. Este será

considerado o melhor, ou seja, o algoritmo o identificará como o provável local aonde o usuário está.

Capítulo 4 – Validação do Modelo de Localização

Para validação do modelo de localização apresentado no capítulo anterior foi utilizado o mesmo ambiente de testes no qual o mesmo fora projetado e desenvolvido, o 4º andar do CCE da UFV. Foram realizadas medições em 23 pontos conforme apresentado na figura 4.1 e, a partir dos valores de RSSI recebidos, o algoritmo estimava a coordenada provável em que a mesma havia sido realizada. Para isto, foram utilizados 2 notebooks de marcas, modelos e configurações diferentes, realizando medições nos mesmos locais e tendo seus resultados comparados e apresentados na Figura 4.2 (Mais detalhes sobre os equipamentos utilizados e os locais das medidas de teste no Apêndice D).

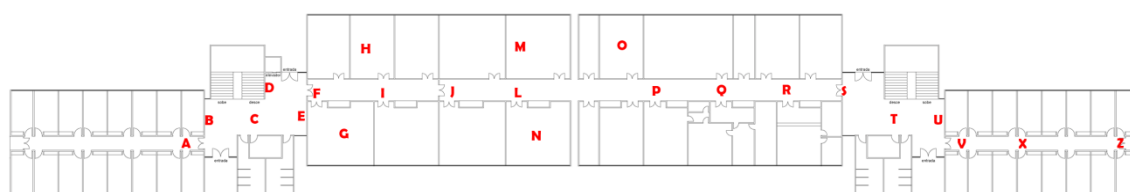


Figura 4.1. Locais das medidas de testes.

Observando o gráfico da Figura 4.2, verificamos que em algumas situações, o modelo apresentou resultados excelentes, enquanto em outras, os resultados não foram tão satisfatórios. Porém, conforme as análises dos dados das medições em cada ponto apresentadas nos próximos tópicos, é possível verificar o motivo pelo qual o erro entre o local estimado e o local exato, em alguns pontos, ser maior que o esperado.

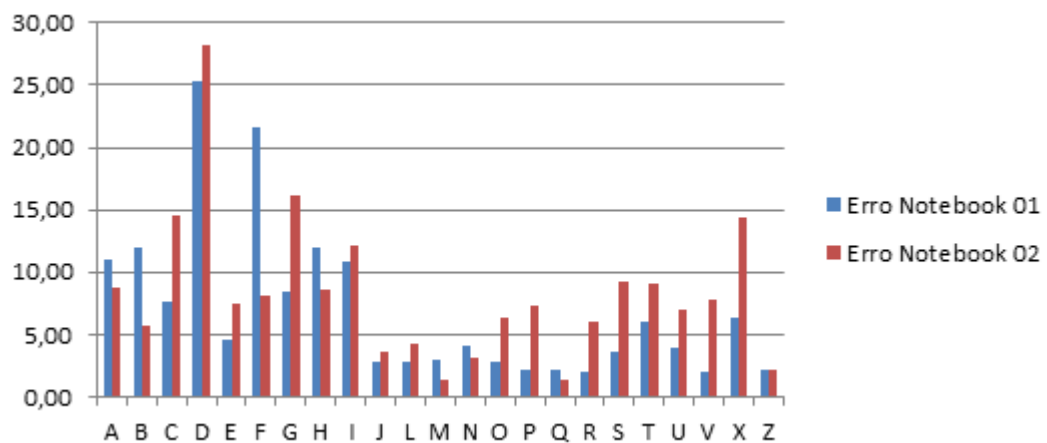


Figura 4.2. Erro apresentado em cada local de medida.

4.1 Dados Brutos

O notebook 01 apresentou as seguintes taxas de erro (em metros):

- Médio: 6,95
- Detectando 1 AP: 9,29
- Detectando 2 AP's: 6,23
- Detectando 3 AP's: 9,43
- Detectando 4 AP's: 2,62
- Detectando no mínimo 3 AP's: 6,87

O notebook 02 apresentou as seguintes taxas de erro (em metros):

- Médio: 8,38
- Detectando 1 AP: 11,27
- Detectando 2 AP's: 8,07
- Detectando 3 AP's: 9,50
- Detectando 4 AP's: 5,84
- Detectando no mínimo 3 AP's: 7,67

Os resultados englobando ambos os notebooks apresentaram as seguintes taxas de erro (em metros):

- Médio: 7,66
- Detectando 1 AP: 10,61
- Detectando 2 AP's: 7,15
- Detectando 3 AP's: 9,46
- Detectando 4 AP's: 4,36
- Detectando no mínimo 3 AP's: 7,25

Se considerarmos apenas a média de todas as medidas em todos os resultados, observamos que o erro está dentro da margem considerada aceitável, porém quando se trata de modelos de localização, não podemos analisar os dados sem antes analisarmos o motivo de, em alguns casos, o erro apresentado ser maior que o esperado.

4.2 Cobertura e Número de AP's

O problema de localização em ambientes *indoor* passa inicialmente pela quantidade de AP's disponíveis no local para a realização do serviço. Existem modelos que trabalham não só com os pontos de acesso disponíveis no ambiente (ZHANG, ZHANG, 2007), mas também com os externos, porém não consideramos essa situação em nossos testes, visto que estes fugiriam de nosso controle e as mudanças de posicionamento que poderiam ocorrer durante o processo acabariam prejudicando.

Outros trabalhos realizam o posicionamento estratégico dos AP's de forma que, um número mínimo de 3 seja detectado em qualquer parte do ambiente com uma boa qualidade de sinal (BAHL, PADMANABHAN, 2000) (SMAILAGIC et. al., 2002), ou até mesmo utilizam uma grande quantidade de AP's (ROOS et. al., 2002) (ZHANG, ZHANG, 2007).

Para a criação do modelo não realizamos alterações iniciais no ambiente, porém a falta de cobertura de sinal ou até mesmo os sinais recebidos com potência muito baixa acabaram prejudicando a precisão em algumas locais, principalmente na ALA A, visto a inexistência de AP's naquela região.

A partir do momento em que a realização das medidas de testes foram feitas nos locais com boa cobertura de sinal (da medida J em diante), o modelo

demonstrou-se extremamente eficiente, apresentando erros menores que o erro médio. A inserção de um ou até dois novos AP's para cobrir o problema de sinal na primeira metade do andar fatalmente melhoraria a precisão para essas medidas.

4.3 Análise dos Resultados

Para analisarmos os resultados, devemos levar em consideração o local aonde as medidas foram realizadas, a cobertura do sinal no mesmo e os valores de potência de sinal recebidos. Esses fatores serão levados em conta para verificar os resultados apresentados tanto para o notebook 01 quanto para o notebook 02.

4.3.1 Resultado Médio

Levando em consideração os resultados médios apresentados no item 4.1, verificamos que o modelo apresenta, no geral, uma margem de erro aceitável para ambientes *indoor*, visto que métodos que utilizam um número mínimo de 3 AP's com boa cobertura de sinal obtiveram um erro de aproximadamente 7,30 metros (Zhang, Zhang, 2007).

Tanto para o notebook 01 quanto para o notebook 02, mais da metade dos pontos medidos apresentaram valores abaixo da média, sendo possível observar através dos dados apresentado na Figura 4.2, que algumas medidas que apresentaram um valor de erro grande acabaram influenciando para o aumento do erro médio.

Para o notebook 01, se analisarmos apenas os locais citados anteriormente que possuem uma boa cobertura de sinal, todos estes apresentaram resultados abaixo da média, sendo que, se considerarmos apenas estes pontos, o erro médio para este notebook cai para 3,31 metros. Já para o notebook 02, para esses mesmos pontos, apenas 3 apresentaram valores superiores à média das medidas realizadas com este dispositivo, sendo que o valor médio nos locais de boa cobertura foi de 5,95 metros.

Ao analisarmos o erro médio utilizando as medidas de ambos os notebooks, verificamos também que o valor continua sendo aceitável e que o

mesmo problema ocorreu para a elevação deste, ou seja, alguns pontos que apresentaram erros grandes foram fundamentais para elevação do erro.

Considerando a média total, 28 das 46 medidas apresentaram valores abaixo da média, visto que, se considerarmos apenas os locais citados anteriormente que estão na área de boa cobertura de sinal, apenas 4 de 28 apresentaram valores superiores.

Com isso, verificamos que, lavando em conta apenas o erro médio, o modelo é aceitável, devido ao valor apresentado estar dentro da margem de erro aceitável para este tipo de problema. Quando consideramos apenas os locais com boa cobertura de sinal, o modelo se torna ainda mais eficiente, apresentando uma taxa média ainda menor.

4.3.2 Resultados Detectando 1 AP

Quando se trata de LBS é difícil encontrar modelos que trabalhem para determinar a localização utilizando como parâmetro o sinal enviado por apenas 1 emissor. Durante o período de revisão bibliográfica, verificamos que trabalhos não visam trabalhar com essa possibilidade, e a maioria exigia um número mínimo (na maioria das vezes 3) de AP's para realizar a localização. Por este motivo, não realizaremos um comparativo, porém apresentaremos algumas análises sobre o mesmo.

Para o notebook 01, apenas em dois locais um único AP foi detectado, sendo os valores de erro entre o local estimado e o local real de 11,01 e 7,57 metros, ou seja, um erro médio de 9,29 metros. Já para o notebook 02, em quatro dos 23 pontos apenas um AP foi detectado, sendo o erro médio de 11,27 metros.

Devido à grande dificuldade relatada pelos modelos estudados em determinar a localização quando o número de emissores é inferior a 3, consideramos o valor médio de erro apresentado para ambos os notebooks satisfatórios, visto que alguns modelos, como relatado por ZHANG, ZHANG (2007), apresentam erros um pouco menor, porém com um número maior de emissores.

Se analisarmos o erro médio total, considerando as medidas de ambos os notebooks, o valor é de 10,61 metros. Sendo assim, continuamos

considerando este resultado aceitável devido à dificuldade de se determinar a localização de dispositivos móveis quando possuímos um problema quanto ao número de pontos de referência.

Os locais que identificaram apenas o sinal de um emissor estavam situados em um setor considerado crítico, ou seja, a cobertura de sinal era ruim, tanto pela qualidade do sinal quanto pelo número de AP's disponíveis. Por esse motivo não realizamos um comparativo com o ambiente de boa cobertura.

4.3.3 Resultados Detectando 2 AP's

Conforme citado anteriormente, modelos de localização estudados recomendam um número mínimo de 3 AP's para a realização de LBS, por isso fica deficitária a realização de um comparativo entre os resultados apresentados por nosso modelo e os de outros. Porém, assim como no tópico anterior, é apresentada algumas consideração à respeito dos resultados obtidos com o mesmo.

Para o notebook 01 o erro médio apresentado foi de 6,23 metros. Verificando que estamos utilizando como base para estimar o local do dispositivo apenas dois emissores, essa média é considerada aceitável, visto que erro é um valor inferior ao de alguns modelos e técnicas que utilizam um número maior de AP's. Se considerarmos apenas as medidas situadas no setor que possui uma boa cobertura de sinal, valor médio do erro cai consideravelmente, chegando a 3,55 metros.

Já para o notebook 02, o erro médio apresentado foi de 8,07 metros, o que também consideramos aceitável visto o problema em se realizar a localização com essa quantidade de emissores e também comparado com os resultados apresentado por ZHANG, ZHANG (2007) para modelos que utilizam um número mínimo de 3 AP's. Já para os locais considerados de boa cobertura de sinal, este notebook praticamente manteve o erro estável.

Quando analisamos o erro médio total para as medidas realizadas com ambos os notebook, o valor chega a 7,15 metros. Já se considerarmos apenas os locais com boa cobertura de sinal este valor cai para 5,83 metros.

4.3.4 Resultados Detectando 3 AP's

A maioria dos modelos exigem um número mínimo de 3 pontos de acesso para que seja possível determinar a localização de um dispositivo móvel em um ambiente *indoor*. Nosso modelo inicialmente não propôs uma quantidade mínima, porém é possível verificar que alguns fatores, inclusive o número de AP's, são fundamentais para que tenhamos um modelo preciso. Outro fator que verificamos ser extremamente importante é a qualidade do sinal recebida pelo dispositivo móvel. Segundo SMAILAGIC (2002), quando o dispositivo recebe um sinal com uma qualidade baixa, este tende a ser prejudicial para determinar a localização. O autor demonstra, conforme a Figura 4.3, que nem sempre a utilização de todos os sinais recebidos pode ser uma boa ideia, pois isso pode aumentar a probabilidade de locais candidatos e, conseqüentemente, sua taxa de erro. O ideal é desconsiderar sinais recebidos com potência fraca e utilizar os 5 melhores recebidos para determinar as localização.

O primeiro mapa apresenta todos os pontos candidatos quando considerados todos os AP's identificados, já o segundo considera apenas o sinal dos 5 melhores diminuindo consideravelmente os possíveis locais onde o dispositivo móvel possa estar.

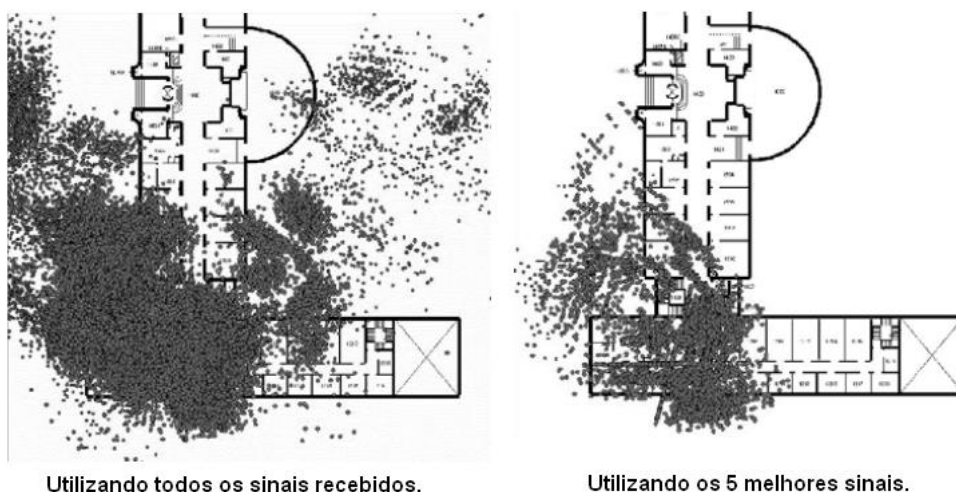


Figura 4.3. Influência dos sinais com potência baixa na localização (SMAILAGIC et. al., 2002).

Verificadas essas peculiaridades, observamos que em nosso ambiente de testes não era possível utilizar apenas o 5 melhores sinais, visto que

possuíamos apenas 4 AP's distribuídos no local e, com isso, todos os sinais recebidos, independente da potência, eram considerados. Este fator acabou influenciando para que houvesse um erro grande em locais aonde a cobertura do sinal não é ideal.

O erro médio para as medidas realizadas com o notebook 01 foi de 9,43 metros, apesar de ser um erro aceitável, demonstrou ser maior do que boa parte dos modelos estudados durante o processo de revisão bibliográfica, porém ao analisarmos com cuidado o real motivo deste valor, verificamos que em alguns pontos o erro foi extremamente grande, o que acabou influenciando para um valor excessivo para o erro médio, como os valores apresentados para os pontos D, F, H e I.

Quando passamos a analisar os valores obtidos apenas nos pontos situados nos locais que possuem uma boa cobertura de sinal, verificamos que o erro médio cai significativamente, chegando a 3,99 metros, o que é considerado aceitável e compatível com os valores de erro apresentados por outros modelos.

Ao analisarmos o erro médio para as medidas realizadas com o notebook 02, verificamos um erro um pouco maior, 9,50 metros, e os mesmo problemas apresentados com o notebook anterior, porém apenas nos pontos D e I, mas os valores destes foram suficientes para elevar o erro médio para este notebook. Já quando consideramos apenas os pontos encontrados na área de boa cobertura, este valor cai para 4,51 metros, ou seja, aceitável e compatível com os erros apresentados nos trabalhos referenciados.

Quando não fazemos distinção de qual foi o notebook utilizado para realizar as medições, apenas somamos todos os resultados, verificamos que o erro se encontra na mesma faixa, 9,46 metros, mas quando consideramos apenas as medias de J em diante que receberam o sinal de 3 AP's, este valor cai para 4,22 metros.

Com isso verificamos que em algumas situações aumentar o número de AP's enxergados não significou uma diminuição do erro, exceto quando garantimos também que o sinal recebido pelo dispositivo chegue com boa qualidade. Quando isso acontece, fica claro que o modelo fica confiável e com boa precisão, por isso é aconselhável a utilização em ambiente com boa cobertura de sinal.

4.3.5 Resultados Detectando 4 AP's

Como era esperado no início o projeto, os locais de medições que conseguiram receber sinais emitidos por todos os AP's dispostos em nosso ambiente de teste foram os que obtiveram, em média, os melhores resultados quanto aos valores de erro.

Os pontos de medidas que receberam os sinais de todos os AP's, independente de qual notebook tenha sido utilizado, estavam situados dentro da área que consideramos de boa cobertura de sinal.

Para as médias realizadas com o notebook 01, verificamos que o erro apresentado foi de 2,62 metros, valor considerado muito bom quando comparado com os trabalhos referenciados.

Já para o notebook 02, verificamos que o erro apresentado foi de 5,84 metros, que, apesar de ser maior do que o apresentado pelo computador anterior, também é considerado aceitável.

Quando verificamos a média total das medidas que receberam sinais de todos os emissores, independente de qual seja o receptor, o erro médio apresentado é de 4,36 metros.

4.3.6 Resultados Detectando, no Mínimo, 3 AP's

Quando passamos a analisar o nosso modelo de acordo com as características implantadas nos estudados e referenciados, ou seja, considerando um número mínimo de 3 AP's (em alguns modelos, até mais), verificamos que o nosso modelo se comporta de maneira melhor.

As medidas realizadas com o notebook 01 que atendem a esse critério obtiveram um valor de 6,87 metros de erro médio, porém, quando consideramos apenas as medidas realizadas na área de boa cobertura de sinal, esse valor cai para 3,24 metros. Já para o notebook 02, o valor de erro médio é 7,67 metros, porém, se considerarmos as medidas nos locais de bom sinal, esse valor cai para 5,36 metros.

Caso não façamos distinção de dispositivo receptor e analisemos todas as medidas realizadas que atendam ao critério, verificamos que o erro médio é

de 7,25 metros, porém se considerarmos os pontos medidos nos locais bem servidos, o valor cai para 4,35 metros.

4.3.7 Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal

Quando analisamos os valores recebidos apenas em locais com uma boa cobertura de sinal, independente do número de AP's detectados pelos dispositivos móveis, o modelo apresentou bons resultados.

A média de erros para as medidas realizadas com o notebook 01 foi de 3,31 metros, enquanto para o notebook 02 foi de 5,95 metros. No geral, as medidas realizadas neste local obtiveram um erro de 4,63 metros.

Qualquer uma das 3 situações acima é considerada satisfatória, visto a média de erros apresentados para os modelos estudados.

4.4 Conclusões Sobre o Modelo de Localização

O modelo de localização apresentado é de simples implementação se comparado a outros modelos existentes e apresenta respostas rápidas para o usuário (2 segundos). Os resultados apresentados nos tópicos anteriores são mostrados nas Tabelas 4.1 a 4.6.

Segundo KOLODZIEJ, HJELM (2006), determinar se um modelo é bom ou não depende de vários fatores. O primeiro é qual será a utilidade do mesmo. Caso seja para serviços emergenciais, o mesmo deve apresentar a menor margem de erro possível, pois será essencial para a localização de uma pessoa que, por exemplo, pode estar necessitando de apoio médico. Para outras situações, é aceitável uma taxa de erro maior, visto que o objetivo do usuário, na maioria das vezes, é encontrar um ponto de referência no ambiente para conseguir chegar ao seu destino.

Para isto, o autor considera que algumas necessidades devem ser verificadas antes para se comparar um modelo com o outro. Uma delas é se o modelo necessita de equipamento extra para realizar a localização (consulta à servidores, banco de dados etc.) ou a aplicação roda apenas no dispositivo do usuário.

Outro problema, como já citado anteriormente, é o custo inicial para implantação do modelo. Alguns apresentam uma precisão melhor do que outros, porém o seu custo de implantação é muito maior e nem sempre se torna viável, enquanto outros possuem uma precisão menor, porém são facilmente implantados.

Notebook 01 (Todas as Medidas)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	2	9,29
2 AP's	5	6,23
3 AP's	10	9,43
4 AP's	6	2,62
Todas as Medidas	23	6,95
Mínimo de 3 AP's	16	6,87

Tabela 4.1. Resultados do Notebook 01 para todas as medidas.

Notebook 01 (Medidas de J à Z)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	0	-
2 AP's	3	3,55
3 AP's	5	3,99
4 AP's	6	2,62
Todas as Medidas	14	3,31
Mínimo de 3 AP's	11	3,24

Tabela 4.2. Resultados do Notebook 01 para as medidas na área de boa cobertura de sinal.

Notebook 02 (Todas as Medidas)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	4	11,27
2 AP's	5	8,07
3 AP's	8	9,5
4 AP's	6	5,84
Todas as Medidas	23	8,38
Mínimo de 3 AP's	11	5,36

Tabela 4.3. Resultados do Notebook 02 para todas as medidas.

Notebook 02 (Medidas de J à Z)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	0	-
2 AP's	3	8,12
3 AP's	4	4,51
4 AP's	7	5,84
Todas as Medidas	14	5,95
Mínimo de 3 AP's	11	5,36

Tabela 4.4. Resultados do Notebook 02 para as medidas na área de boa cobertura de sinal.

Notebooks 01 e 02 (Todas as Medidas)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	6	10,61
2 AP's	10	7,15
3 AP's	18	9,46
4 AP's	12	4,36
Todas as Medidas	46	7,66
Mínimo de 3 AP's	30	7,25

Tabela 4.5. Resultados dos Notebooks 01 e 02 para todas as medidas.

Notebooks 01 e 02 (Medidas de J à Z)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	0	-
2 AP's	6	5,83
3 AP's	9	4,22
4 AP's	13	4,36
Todas as Medidas	28	4,63
Mínimo de 3 AP's	22	4,35

Tabela 4.6. Resultados dos Notebooks 01 e 02 para as medidas na área de boa cobertura de sinal.

O objetivo inicial do modelo proposto neste documento não é atender serviços de emergências, mas sim auxiliar pessoas a se localizarem em ambientes desconhecidos, por isso uma margem de erro maior é aceitável na hora de determinar a sua localização.

Outra vantagem que nosso modelo possui é que não necessita de consultas a outros equipamentos para verificar a localização dos usuários, visto que o único parâmetro necessário para isto são as medidas realizadas no local

em quem o dispositivo móvel está. Em geral, modelos que necessitam de algum dispositivo extra ou realizam consultas à banco de dados são aqueles que trabalham com as técnicas de *fingerprinting* e mapa de rádio.

Apesar de nosso modelo utilizar um pouco dessas duas técnicas, a única necessidade para realizar a localização é rodar o algoritmo, que pode ser implementado para as mais variadas interfaces (celulares, notebooks, tablets etc).

Se utilizarmos como parâmetro de comparação os valores apresentados na figura 2.3, do Capítulo 2, o modelo proposto apresentou em apenas 2 situações, conforme mostrado nas Tabelas de 4.1 a 4.6, o erro médio maior que 10 metros, porém esse problema aconteceu por levarmos em consideração situações que muitos modelos não se preocupam em tratar, que são os locais em que possuímos apenas um emissor como referência.

Quando comparamos com os resultados apresentados na Figura 4.2, verificamos que das 46 medidas realizadas, apenas 11 foram superiores a 10 metros, ou seja, em 76% das vezes a precisão encontrada foi inferior ao erro aceitável, sendo que dessas 11, apenas 4 apresentaram erro superior a 15 metros.

Com todos os valores apresentados e estudados, é viável declarar que o modelo de localização apresentado neste documento é aplicável, visto que atende aos principais requisitos necessários para isto.

Apesar de existirem modelos que realizam as mesmas tarefas, analisando as necessidades de cada um para que possam realizar a localização, verificamos que o modelo proposto está bem qualificado quanto a relação custo benefício, pois não necessita de nenhum equipamento extra para a localização, não são necessárias mudanças ou incrementos de equipamentos no ambiente (apesar de o aumento no número de AP's no ambiente provavelmente diminuirá o erro apresentado em alguns locais), o processo inicial para implementação não é muito custoso, visto que não são necessárias muitas medições para se determinar a equação de localização para cada AP e, em caso de mudanças no ambiente inicial (mudar o posicionamento ou o incremento de mais AP's no ambiente) o processo de adaptação do modelo não é muito custoso. São necessárias apenas algumas adaptações na equação de localização do AP modificado, a determinação da

equação para estimar a localização para os novos AP's, ou até mesmo a utilização, para estes últimos, dos perfis já existente e cadastrados. A utilização de perfis será tratada no próximo capítulo.

Capítulo 5 – Utilização de Perfis Para Localização

Existem vários modelos para a implantação de LBS em ambientes *indoor*. A escolha de qual usar vai depender do objetivo a ser alcançado. Apresentamos neste documento um modelo que relata resultados de forma satisfatória e pode ser implantado, seguindo os passos descritos, nos mais variados tipos de ambientes. Porém propusemos para este trabalho a utilização do conceito de localização através de Perfis, ou seja, a partir do momento em que possuímos um sistema de localização em um determinado ambiente. Caso seja necessário implantar em outro com as mesmas características, o trabalho inicial tende a ser bastante reduzido.

Os modelos referenciados e estudados não possuem nenhuma vantagem caso o mesmo venha a ser implantando em outro local, mesmo de características semelhantes, sendo necessário realizar todo o processo feito no local anterior.

Para verificar se o modelo apresentado aqui seria capaz de atender a esse requisito, utilizamos para os nossos testes o 3º andar do CCE da UFV. Apesar das características semelhantes ao nosso ambiente inicial, observamos na Figura 5.1 que existem algumas diferenças entre ambos na disposição de algumas salas.

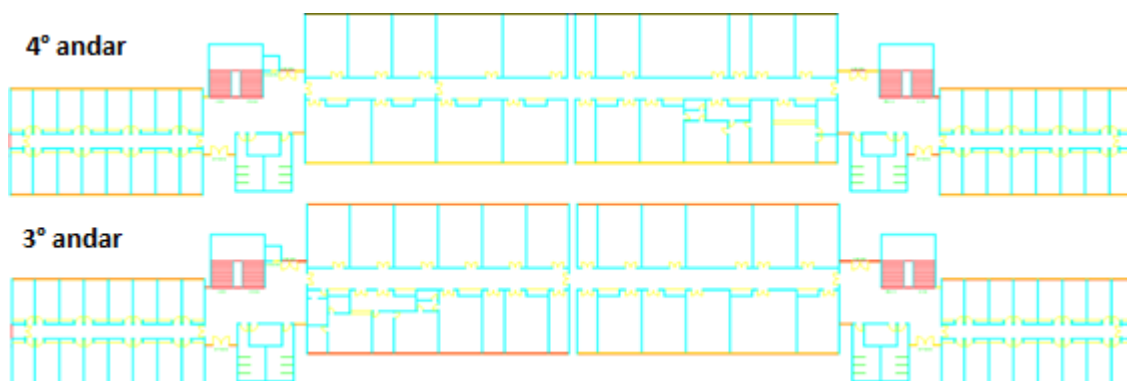


Figura 5.1. Comparativo entre o 4º e o 3º andar do CCE da UFV.

5.1 O Conceito de Perfis Para Localização

Quando citamos a utilização de perfis para a localização em ambientes semelhantes, estamos levando em consideração os dados relacionados aos AP's utilizados para a implantação de LBS no ambiente anterior. Cada um desses possui característica que, muitas vezes se assemelham com pontos de acesso distribuídos em ambientes parecidos. Os locais aonde se encontram, modelo, fabricante, características físicas (está posicionando dentro de algum local para protegê-lo ou sem proteção), dentre outros, são características que às vezes se assemelham em locais como prédios universitários, empresas, museus etc.

Visto isso, partimos do princípio que é provável que o sinal dos AP's que possuem características semelhantes se comportem também de maneira semelhante em ambientes parecidos, porém eram necessários alguns testes para confirmar nossa hipótese. Por este motivo, utilizamos para os testes neste novo andar os perfis já existentes e que foram utilizados para a realização da localização no anterior.

O objetivo deste tipo de utilização é diminuir consideravelmente o tempo e o trabalho a ser realizado para a implantação deste tipo de serviço quando já possuímos o mesmo funcionando de maneira aceitável em um ambiente semelhante.

As próximas seções apresentam os testes, os resultados e uma avaliação se este tipo de técnica é viável e se pode ser utilizada quando possível.

5.2 Testes

Como apresentado anteriormente, utilizamos para a realização dos nossos testes e verificação se a implantação de LBS utilizando perfis cadastrados é viável, um outro andar do mesmo prédio no qual já havíamos implantando o nosso modelo de localização.

O primeiro passo a ser feito neste novo local é o cadastro dos AP's existentes. Neste caso existiam 3, que identificaremos de AP 05, AP 06 e AP 07 (Mais detalhes sobre pontos de acesso podem ser encontrados no Apêndice D). Ao realizarmos esse cadastro, devemos verificar também qual é o modo como o mesmo se encontra no ambiente, ou seja, se está em cima de uma mesa, dentro de alguma caixa hermética etc.

Diferentemente do que foi realizado para a implantação do modelo no 4º andar, neste caso não foram feitas medições prévias para verificar o comportamento provável do sinal em nosso novo ambiente. Este é um dos passos que serão eliminados quando utilizamos o conceito de Perfis.

Dispostos então do posicionamento dos AP's no ambiente, o próximo passo realizado foi verificar em que locais realizar as medições de testes e utilizar o nosso modelo de localização. Esses pontos são apresentados na Figura 5.2, juntamente com o posicionamento dos AP's existentes no local.

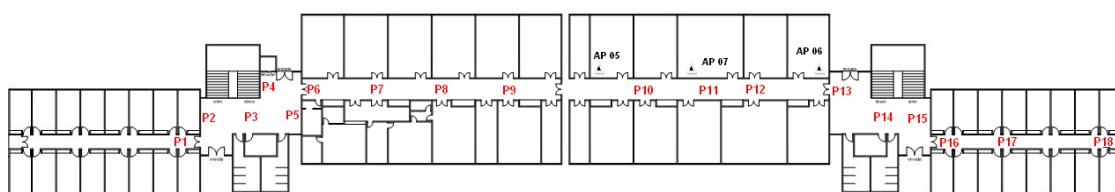


Figura 5.2. Posicionamento dos AP's e locais das medidas de teste.

Para a realização de um comparativo com os resultados apresentados para o 4º andar, as medições realizadas no 3º foram sempre nas mesmas coordenadas aonde também já havíamos realizados medições no andar anterior. O objetivo é realizar um comparativo entre os erros apresentados para pontos localizados no mesmo local, porém, devido a problemas de acesso em algumas salas e/ou laboratórios, visto que neste andar estão em

funcionamento outros departamentos, não foi possível a realização de testes nos locais das medidas G, H, M, N e O mostradas na Figura 4.1.

Os testes neste andar foram realizados utilizando o notebook 02, pois como este não participou da calibração do modelo no andar anterior, consideramos que os resultados apresentados por este seriam menos influenciados e mais representativos.

Como não foi verificado o comportamento provável do sinal dos pontos de acesso situados no terceiro andar, uma adaptação precisou ser realizada em nosso modelo de localização. Quando trabalhamos com este no 4º andar, havia duas possibilidades de um ponto não ser considerado um possível local para o dispositivo móvel estar. O primeiro era se o mesmo não se encontrava dentro da área construída do prédio. Já o segundo fazia referência aos AP's não identificados. Quando uma medida era realizada e o dispositivo não havia recebido o sinal de um ou mais pontos de acesso, atribuíamos um erro infinito aos locais situados dentro da área de cobertura destes emissores, para que o algoritmo não considerasse esses como um possível local em que o dispositivo móvel estaria. Este segundo caso não seria possível. Sendo assim, adaptamos o algoritmo, e apenas a primeira possibilidade passou a ser considerada neste andar.

Como não foram encontradas publicações que utilizam esse tipo de técnica, não sabíamos quais eram os fatores mais importantes para definir um perfil, caso esse exista, para um AP. Diferentemente de quando tratamos apenas de modelos de localização, onde já possuímos informações sobre a importância de um sinal recebido com boa potência, a quantidade de pontos de acesso necessários para determinar a localização, não foi possível inicialmente determinar quais seriam os fatores mais importantes para determinar o perfil a ser utilizado por um AP.

Por esse motivo, todas as combinações possíveis foram verificadas para observarmos quais seriam os resultados apresentados por cada AP utilizando os perfis já existentes, como cada um se comportaria e se estes atenderiam aos novos AP's.

Em cada ponto identificado no mapa da Figura 5.2 foram realizadas 20 medições com um intervalo de 100 milissegundos para identificar os sinais de quais pontos de acesso do andar chegavam até o local. Do mesmo modo como

realizado no andar anterior, o algoritmo verificava a média dos valores recebidos e utilizava este como parâmetro de potência do sinal para determinar a localização.

Como já existiam 4 perfis cadastrados (AP 01, AP 02, AP 03 e AP 04) e no 3º andar foram detectados os sinais de 3 pontos de acesso (AP 05, AP 06 e AP 07) em cada ponto apresentado no mapa da figura 5.2, haviam 4ⁿ combinações possíveis de perfis, sendo n o número de AP's identificados no local.

5.3 Resultados

Para analisar os resultados apresentados em nossos testes, dividiremos estes em 3 partes. Na primeira, apresentaremos os menores erros encontrados para cada ponto, independente dos perfis utilizados pelos AP's. Na segunda, apresentaremos os resultados ocorridos com as melhores combinações de perfis que encontramos. Já na terceira, realizaremos um comparativo com os resultados apresentados nas medidas realizadas no 4º andar, tanto para as melhores medidas quanto para os melhores perfis.

5.3.1 Melhores Resultados Utilizando Perfis

Após a realização das medições, obtivemos os seguintes resultados para as medidas realizadas, conforme demonstrado na Figura 5.3. Para alguns pontos, os menores erros foram encontrados em mais de uma combinação de perfis

Os valores de erros apresentados, em metros, são:

- Médio: 14,09
- Detectando 1 AP: 22,68
- Detectando 2 AP's: 9,06
- Detectando 3 AP's: 11,10

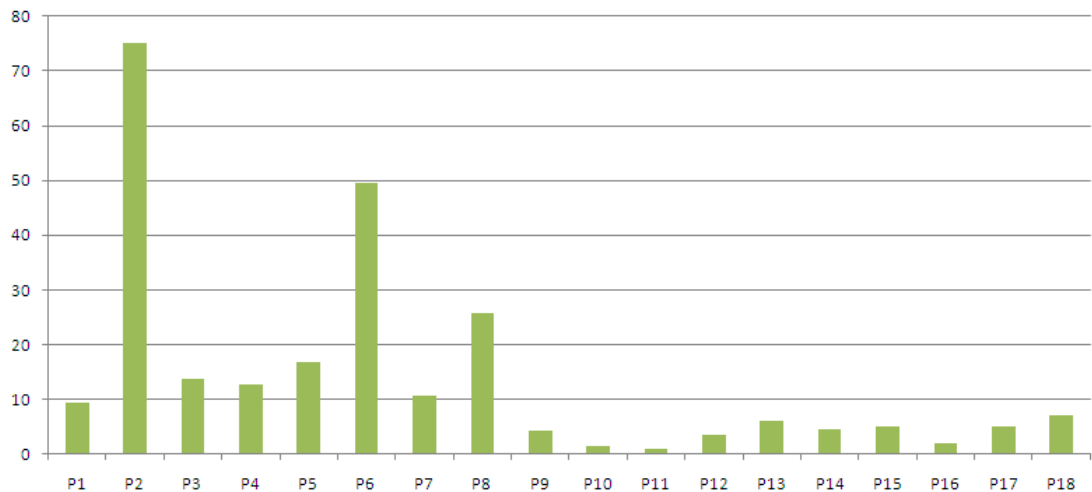


Figura 5.3. Menores erros encontrados utilizando perfis.

Do mesmo modo que analisamos os resultados no capítulo 4, não podemos simplesmente considerar os valores médios sem observarmos os motivos que determinaram estes.

Um dos problemas que claramente podemos observar é que na primeira metade deste andar, aonde foram realizadas as medidas de P1 até P9, não havia nenhum ponto de acesso instalado, ou seja, a cobertura de sinal neste local não é a ideal para a implantação de LBS, diferentemente da segunda metade, aonde realizamos as medidas de P10 à P18, que possui todos os AP's encontrados em nossos testes.

Esta segunda metade é a parte que consideramos de boa cobertura de sinal, aonde observamos que foram obtidos os melhores resultados. O ponto P9, apesar de se encontrar na primeira metade do mapa, situam-se em uma área com boa cobertura de sinal para os 3 AP's. Por este motivo, iremos considerá-las, conforme realizado no capítulo anterior, dentro da área em que a probabilidade de erros menores acontecerem é maior, diferentemente dos pontos P17 e P18 que, apesar de se encontrarem na segunda metade do mapa, foram medidos em um local com uma cobertura ruim, aonde se detecta o sinal de apenas um ponto de acesso. Por esse motivo, consideraremos dentro da área de boa cobertura os pontos a partir do P9 até o P16.

5.3.1.1 Resultado Médio

Se tratando do erro médio, podemos observar que as medidas realizadas nos pontos P2 e P6 foram fundamentais para elevar o valor para 14,09 metros. Outra medida que também se apresentou bem foi a realizada no P8. Esta informação pode ser verificada também de outra forma, bastando verificar que das 18 medidas, 14 apresentaram valores de erros menores que o médio.

Considerando o erro declarado como aceitável por SHAH (2010) para LBS utilizando a tecnologia wi-fi, a nossa taxa, apesar de 40% maior, pode ser considerada aceitável principalmente ao verificarmos o pouco trabalho para a implantação do serviço no local. Outro dado importante que o autor cita é que a precisão de aproximadamente 10 metros é esperada em 67% das situações, e é exatamente o que acontece com os valores apresentados na Figura 5.3. Doze das 18 medidas apresentam erros menores ou iguais a 10 metros. Se considerarmos o erro médio apenas para os pontos situados na área de boa cobertura de sinal, o valor cai significativamente para 3,47 metros.

5.3.1.2 Resultados Detectando 1 AP

Cinco dos dezoito pontos detectaram o sinal de apenas 1 ponto de acesso (P1, P2, P5, P17 e P18). Quando passamos a considerar o erro médio apenas para estes, o valor é considerado elevado, ou seja, 22,68 metros. Porém, podemos observar que o ponto P2 foi fundamental para este valor elevado, visto que 4 dos 5 pontos possuem valores de erro menores que o médio.

Outro dado importante é que 3 dos 5 pontos apresentam valores de erro menores do que 10 metros, erro considerado aceitável para um modelo de localização que utiliza a tecnologia wi-fi.

Quando levamos em consideração apenas os pontos situados na segunda metade do mapa, o valor do erro médio cai drasticamente, chegando à 6,08 metros, valor que é considerado muito bom, principalmente se compararmos o custo praticamente nulo para a implantação do serviço no local.

5.3.1.3 Resultados Detectando 2 AP's

Apenas dois dos dezoito pontos utilizados para testes no 3º andar identificaram o sinal de apenas 2 AP's. Um deles, o P3, apresentou erro de 13,65 metros, já o outro, o P14, apresentou erro de 4,47 metros. Com isso, observamos que o ponto que está localizado na área de boa cobertura de sinal obteve um valor 3 vezes menor do que o que estava situado na primeira metade do andar. Isto demonstra mais uma vez o quanto é importante os valores de potência recebida para a localização de dispositivos móveis dentro de um ambiente *indoor*. Ambos identificaram o mesmo número de AP's, porém, o P14 recebeu valores melhores do que o P3, o que influenciou na precisão da localização.

5.3.1.4 Resultados Detectando 3 AP's

Considerado por vários modelos como o número mínimo de emissores necessários para que se tenha uma boa precisão de localização, dos 18 pontos identificados em nosso mapa, 11 identificaram a quantidade de 3 AP's, ou seja, todos os disponíveis para este teste, visto que esse era o número de aparelhos neste andar.

O erro médio para os pontos que se encontram nesta situação foi de 11,10 metros, sendo que 8 dos 11 pontos apresentaram valores inferiores à esse, o que demonstra que os pontos P6 e P8, que tiveram valores alto de erro, influenciaram para que o valor do erro médio fosse elevado. Se desconsiderarmos este dois, o erro cai para 5,19 metros.

Quando passamos a levar em conta apenas os pontos situados na área de boa cobertura de sinal, verificamos que o erro médio também cai consideravelmente, chegando ao valor de 3,33 metros, considerado muito bom para este tipo de problema.

5.3.1.5 Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal

A maioria dos modelos de localização estudada necessita realizar um posicionamento estratégico dos AP's para que seja possível detectar, em qualquer parte do ambiente de teste, um número mínimo de 3 dispositivos e

com uma boa qualidade de sinal. Como o objetivo não era alterar a estrutura inicial já presente no ambiente, utilizamos o modelo de acordo com o posicionamento atual dos dispositivos. Porém sempre consideramos uma área com boa cobertura de sinal para verificar seu funcionamento em um local considerado ideal.

No terceiro andar, estavam situados nesses locais os pontos a partir do P9 até o P16. Esses pontos recebem, em sua maioria, o sinal de 3 AP's. Um dos pontos não chegou a receber o sinal desta quantidade de emissor, porém recebeu sinais que podem ser considerados de boa qualidade, como é o caso do ponto P14.

Levando em consideração apenas estes pontos, o erro médio apresentado foi de 3,47 metros, o que consideramos uma boa taxa para o problema proposto, principalmente levando em consideração o modo simples em que foram realizados os trabalhos neste ambiente, tomando como base apenas o posicionamento atual dos AP's.

5.3.1.6 Análise Geral dos Resultados

Quando consideramos apenas os melhores resultados gerados para cada ponto, sem determinar um perfil específico para cada AP, consideramos os resultados apresentados satisfatórios, visto que a maioria apresentou uma margem de erro considerada boa, e muitas vezes apresentada por modelos que são mais trabalhosos.

Conforme o resumo apresentado nas Tabelas 5.1 e 5.2, é possível verificar que, quando se teve uma boa cobertura de sinal, o modelo apresentou erros muito menores do que nos outros locais, o que demonstra mais uma vez que nem sempre quantidade AP's é melhor do que qualidade do sinal enviado por estes, quando se trata de LBS em ambientes *indoor*.

Se compararmos os resultados apresentados com alguns modelos de localização existentes, é possível verificar que o objetivo proposto neste trabalho é alcançado quando levamos em consideração apenas os melhores resultados apresentados, independente do Perfil utilizado pelo AP.

Uma possível explicação para os locais que apresentaram valores altos de erro é que, provavelmente, os perfis existentes nem sempre atendem e

pode ser necessário que, para um ou outro AP existente, seja preciso verificar o comportamento de seu sinal para criar um novo perfil, e não utilizar um dos já existentes. É esperado que quanto maior a quantidade de perfis cadastrados, a probabilidade de erros como esses diminua. Outra explicação seria que talvez alguma alteração seja necessária no algoritmo ou até mesmo a cobertura de sinal no ambiente deva ser melhorada. Essas questões serão tratadas nos capítulos de conclusão e trabalhos futuros.

Notebook 02 (Menor Erro Com Todas as Medidas)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	5	22,68
2 AP's	2	9,06
3 AP's	11	11,1
Todas as Medidas	18	14,09

Tabela 5.1. Melhores Resultados Utilizando Perfis Com Todas as Medidas.

Notebook 02 (Menor Erro Com Medidas de 9 à 16)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	0	-
2 AP's	1	4,47
3 AP's	7	3,33
Todas as Medidas	8	3,47

Tabela 5.2. Melhores Resultados Utilizando Perfis Com as Medidas de 9 à 16.

5.3.2 Resultados Utilizando os Perfis Mais Recomendados

Para a realização dos testes no 3° andar, verificamos que a combinação dos perfis existentes, sem determinarmos um específico para cada AP, apresentou resultados satisfatórios, conforme apresentado nos tópicos anteriores. Porém o ideal é que, ao se implantar um LBS em um local utilizando o conceito de perfis, determinar qual será o perfil utilizado por cada ponto de acesso que se encontra no local, visto que quanto mais existirem, maior será a quantidade de combinações possíveis, visto que a relação é X^n , onde X é o número de perfis cadastrados e n é o número de AP's no ambiente.

Para verificar quais seriam os fatores relevantes para se determinar um perfil a ser utilizado por um AP, resolvemos antes realizar todas as

combinações possíveis para observar quais seriam os perfis que se adaptariam de melhor maneira em cada AP e, conseqüentemente, qual é a relação existente entre o perfil cadastrado e o ponto de acesso que o utiliza.

Tomando como base os melhores e os piores resultados apresentados em cada ponto identificado em nossa área de teste, realizamos as seguintes observações para determinar quais perfis seriam mais adequados a cada ponto de acesso:

- Como a maioria dos modelos estudados consideram que com o sinal de apenas um emissor é inviável a implantação de LBS, para a utilização desta técnica, foram considerados resultados relevantes apenas os pontos que identificaram, no mínimo, o sinal enviado por 2 AP's;
- Outro fator considerado relevante é a qualidade do sinal recebida pelos dispositivos. Os resultados apresentados no setor de boa cobertura foram considerados de maior importância para analisarmos a implantação de LBS utilizando perfis;
- Apesar de nem sempre apresentarem os menores erros, as combinações de perfis escolhidas foram determinadas também em relação aos altos erros apresentados em algumas situações, ou seja, em algum dos pontos de teste que receberam o sinal de dois ou mais emissores, o perfil utilizado por um AP foi determinante para uma taxa de erro grande. Quando isso ocorria, não consideramos este perfil aceitável para esse ponto de acesso.

Antes de definirmos qual perfil era o ideal para cada AP, primeiramente verificamos quais não deveriam ser utilizados, por apresentarem erros elevados em pontos que obtiveram um valor aceitável. Visto isso, foram observadas as seguintes informações:

- O AP 05 não pode utilizar o perfil do AP 04, pois para o ponto P4, sempre que este foi utilizado, apresentou erros superiores à 76 metros, tornando inviável o seu uso;
- O AP 06 não pode utilizar os perfis dos AP's 01, 02 e 03. Na medida P3, sempre que este utilizou os dois últimos, apresentou erros superiores a

80 metros, exceto uma das vezes, na qual também apresentou um erro alto, superior à 30 metros. Já na medida P4, quando utilizou qualquer um dos perfis citados, apresentou erros superiores à 76 metros, inviabilizando o uso;

- O AP 07 não pode utilizar os perfis dos AP's 03 e 04. Na medida P3, quando este utilizou o último perfil citado, apresentou erros superiores a 96 metros. Já na medida P11, sempre que utilizou o perfil do AP 03, apresentou erros superiores a 79 metros.

Observando isso, verificamos que o AP 05 foi o que mais se adaptou aos perfis existentes, sendo que o único perfil não aconselhado para este é o do AP 04. Qualquer outro apresentou resultados satisfatórios, porém o que melhor se adequou foi o do AP 01. Já para o AP 06, iremos por eliminação, ou seja, o único perfil que pode ser utilizado para este, que não apresenta resultados ruins é o AP 04. Já o AP 07 se adapta tanto para o AP 01 quanto para o AP 02. Se considerarmos todos os pontos do mapa que receberam o sinal de no mínimo 2 AP's, o AP 01 se adapta melhor, possuindo um valor médio de erro inferior ao do AP 02. Caso consideremos apenas os locais com boa cobertura de sinal e que receberam o sinal de 2 ou mais emissores, os papéis se invertem, ou seja, o AP 02 apresentou um valor de erro médio inferior, mas a diferença não chega a ser significativa em nenhuma das duas situações, chegando a ser inferior a 55 centímetros.

Com isso, apresentaremos os resultados para as seguintes combinações de perfis:

- Combinação 01:
 - AP 05: AP 01;
 - AP 06: AP 04;
 - AP 07: AP 01.
- Combinação 02:
 - AP 05: AP 01;
 - AP 06: AP 04;
 - AP 07: AP 02.

5.3.3 Resultados da Combinação 01

Para analisar os resultados gerados para a primeira combinação de perfis considerada, são apresentadas, na Figura 5.4, as médias de erro ocorridas em cada ponto. Lembrando que, consideramos importantes para a escolha dos perfis apenas os resultados ocorridos nos locais onde foi possível receber o sinal de no mínimo dois emissores, ou seja, os pontos P1, P2, P5, P17 e P18, apesar de serem analisados, não influenciaram na escolha.

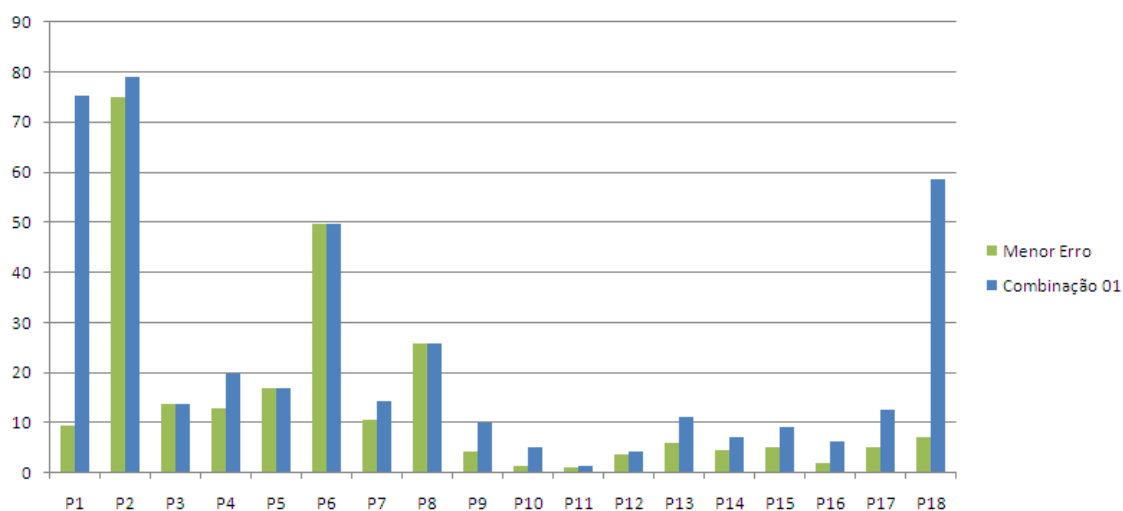


Figura 5.4. Menor Erro x Combinação 01.

Os valores de erro encontrados, em metros, são:

- Médio: 23,31;
- Detectando 1 AP: 48,46;
- Detectando 2 AP's: 10,33;
- Detectando 3 AP's: 14,23;

Do mesmo que realizamos as análises anteriores, verificaremos qual o motivo dos erros apresentados, em algumas situações, serem ruins.

5.3.3.1 Resultado Médio

Levando em consideração o erro médio apresentado pelas medidas utilizando a combinação 01 de perfis, verificamos que o erro de 23,31 metros é considerado elevado quando se trata de LBS em ambientes *indoor*. Observando o gráfico da Figura 5.4, fica visível que algumas medidas foram fundamentais para o valor elevado para o erro médio, pois algumas delas se encontram em locais que detectaram o sinal de apenas um emissor, porém, quando iniciamos os estudos sobre perfis, informamos que consideraríamos relevantes apenas os pontos em que o número de AP's identificados fosse maior ou igual à 2. Analisando desta forma, o valor do erro médio cai quase pela metade, chegando 13,63 metros.

Apesar de ainda estar 3,63 metros acima dos 10 metros, valor considerado aceitável, verificamos que dois pontos continuam contribuindo para o aumento desta taxa de erro, o P6 e o P8. Desconsiderando esses pontos, o erro médio cai para 9,26, ou seja, dentro da margem aceitável. Porém, não podemos desconsiderar os valores apresentados apenas para obter um resultado satisfatório, a menos que haja alguma justificativa plausível. Contudo, citamos também no início do estudo sobre a utilização de perfis que, para um bom funcionamento do mesmo, o local deve ser bem servido de sinal, mas isso não ocorre em todas as situações. Como já dissemos, estão situados em uma área de boa cobertura os pontos do P9 até o P16. Quando consideramos os valores apresentados pelos pontos situados apenas neste setor, verificamos que o erro médio chega ao valor de 6,75, considerado aceitável.

Outro fator importante na área de boa cobertura é que 3 dos 8 pontos situados neste local apresentam erros superiores à 9 metros, demonstrando que, apesar do valor médio ser aceitável, poucos pontos foram responsáveis por ele ser um pouco elevado.

Com isso, verificamos que quando consideramos a média geral, o modelo se tornou pouco eficiente, porém, a partir do momento em que passamos a tratá-lo com os requisitos solicitados, verificamos que este chegou à uma precisão aceitável para este tipo de serviço.

Levando em conta o trabalho mínimo para implantá-lo, consideramos o modelo aplicável quando atendida as características prévias.

5.3.3.2 Resultados Detectando 1 AP

Quando consideramos os pontos que detectaram o sinal de apenas um emissor, verificamos que o modelo não se comporta de maneira adequada, apresentando valores extremamente elevados de erro para alguns locais e um erro médio ruim de 48,46 metros. Por este motivo que, ao iniciarmos os testes sobre perfis, declaramos que para um bom funcionamento, um número mínimo de 2 AP's seriam necessários. Mesmo considerando apenas o pontos situados na segunda metade do mapa, o erro continua elevado, chegando à 35,67 metros.

Apesar dos valores altos, algumas alterações poderiam ser realizadas no modelo para tentar sanar esse tipo de problema e tentar adequar este conceito também para os locais aonde se detecta apenas um AP, porém trataremos disso nos capítulos de conclusão e trabalhos futuros.

5.3.3.3 Resultados Detectando 2 AP's

Apenas dois pontos em nossos testes identificaram o sinal de dois emissores, o P3 e o P14. O primeiro apresentou um valor de 13,65 metros, já o segundo, de 7. Consequentemente, o valor médio é de 10,33.

Considerando a média, está praticamente na faixa de erro aceitável para esse tipo de problema, mas quando consideramos apenas o valor que se encontra na área de boa cobertura, verificamos que o erro apresentado por ele é abaixo da média. Como neste local apenas uma das medidas realizadas identificou dois AP's, mesmo o valor de erro apresentado para ela ser considerado bom, não podemos partir do princípio que em uma área de boa cobertura, caso o ponto tenha recebido o sinal de apenas 2 AP's, a taxa de erro provavelmente estará dentro da aceitável, pois o número de amostras é muito pequeno, apesar de acreditarmos que isso sempre irá ocorrer.

5.3.3.4 Resultados Detectando 3 AP's

O número 3 para AP's detectados é considerado por muitos modelos como o ideal. Em nosso caso, também obtivemos resultados satisfatórios quando os locais identificavam essa quantidade de emissor. O erro médio apresentados para as medidas nessas situação foi de 14,23 metros, porém, verificamos que alguns pontos, como P6, P8 e até mesmo o P4 foram responsáveis por esse erro elevado.

Quando passamos a considerar apenas os pontos que estão na área de boa qualidade de sinal, o erro médio cai para 6,72. Com isso, verificamos mais uma vez que nem sempre só um número elevado de AP's é importante, mas também a qualidade com que o sinal chega no receptor. Sinais baixos, como já citados anteriormente, tendem a prejudicar a identificação da localização, e muitos modelos desconsideram esses valores.

A localização tende a ser mais eficiente sempre quando há uma combinação entre a quantidade de AP's detectados e uma boa qualidade do sinal recebido. Quando isso ocorre, a probabilidade de uma precisão aceitável é sempre maior, visto todos os testes e referências apresentados até o momento.

5.3.3.5 Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal

Quando analisamos apenas os erros dos sinais que se encontram na área de boa cobertura de sinal, verificamos que o erro médio se enquadra na taxa aceitável, chegando à 6,75 metros. Com isso, foi possível verificar que em uma área de boa cobertura, o modelo trabalhou de maneira confiável, sendo que, quanto melhor a qualidade do sinal recebido pelos dispositivos móveis, maior era a precisão apresentada.

Consideramos que, apesar de o ponto P14 ter recebido o sinal de apenas dois AP's, mas ter apresentado uma precisão aceitável, é sempre bom um número maior de emissores, desde que a potência do sinal destes cheguem com boa qualidade.

5.3.3.6 Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal Detectando, no Mínimo, 2 AP's

Os pontos que se enquadram neste tópico são os mesmos do tópico anterior, visto que na área de boa cobertura, exceto o ponto P14, que recebeu o sinal de apenas dois emissores, todos os outros receberam 3. Com isso, a análise para este ponto se assemelha à anterior.

5.3.3.7 Análise Geral dos Resultados

Apesar de alguns pontos apresentarem valores de erro considerados ruins para este tipo de serviço, quando passamos a considerar apenas os locais de boa cobertura de sinal, o modelo, com essa combinação de perfis, conforme mostrado nas Tabelas 5.3 e 5.4, se comportou de forma aceitável, visto que o erro médio apresentou-se abaixo da margem de 10 metros. Das 8 medidas realizadas em locais com essa característica, 7 apresentaram erros menores ou iguais ao limite aceitável. Como o esperado é atingir esse valor no mínimo em 67% das vezes, a implantação do serviço utilizando essa técnica demonstrou-se satisfatória.

Quando consideramos os pontos que receberam sinais com uma potência considerada ruim, independente da quantidade de AP's que os emitiram, o modelo apresentou valores altos de erro, demonstrando que a qualidade do sinal recebido é essencial para o seu bom funcionamento.

Outro modo no qual o modelo não se comportou de maneira aceitável foi se receber o sinal de apenas um emissor. Nesta situação o modelo apresentou valores elevados, porém tanto para essa situação quanto para a citada anteriormente, algumas adaptações poderiam ser realizadas para que se possa melhorar e diminuir os valores apresentados, porém citaremos essas questões nos capítulos de conclusão e trabalhos futuros.

Notebook 02 (Combinação 01 Com Todas as Medidas)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	5	48,46
2 AP's	2	10,33
3 AP's	11	14,23
Todas as Medidas	18	23,31

Tabela 5.3. Combinação 01 Utilizando Perfis Com Todas as Medidas.

Notebook 02 (Combinação 01 Com Medidas de 9 à 16)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	0	-
2 AP's	1	7,00
3 AP's	7	6,72
Todas as Medidas	8	6,75

Tabela 5.4. Combinação 01 Utilizando Perfis Com as Medidas de 9 à 16.

Quando o modelo trabalhou com o sinal de apenas dois emissores, essa combinação de perfil apresentou resultado satisfatório para a medida que se encontrava na área de boa cobertura de sinal. Este era o comportamento esperado neste local, independente do número de dispositivos detectados, porém, afirmar apenas com o resultado de uma amostra que o modelo sempre se comportará assim seria um pouco prematuro, por isso recomendamos para este tipo de técnica a utilização de um número mínimo de 3 emissores, apesar de com um a menos, é provável que o modelo também se comporte de maneira aceitável, desde que receba sinais de boa qualidade.

O parâmetro adotado para um comparativo foram os modelos comuns, que utilizam suas técnicas para a implantação de LBS, mas não possuem uma redução de trabalho caso seja necessário exportá-lo para um local semelhante. Vistos seus resultados, consideramos válido o custo benefício gerado pelo modelo proposto neste trabalho, pois este se enquadra dentro da taxa de erro aceitável para este tipo de problema, porém apresentando um custo altamente reduzido quando se pretende trabalhar em ambientes semelhantes aos quais já possuímos o serviço funcionando.

5.3.4 Resultados da Combinação 02

Os resultados gerados para a segunda combinação de perfis considerada aceitável para este ambiente são apresentados na Figura 5.5. As médias de erro são apresentadas ao lado dos menores erros encontrados para cada ponto, independente do perfil utilizado. Lembrando que consideramos importantes para a escolha dos perfis apenas os resultados obtidos nos locais onde foi possível receber o sinal de, no mínimo, dois emissores, ou seja, os pontos P1, P2, P5, P17 e P18, apesar de serem analisados, não influenciaram na escolha.

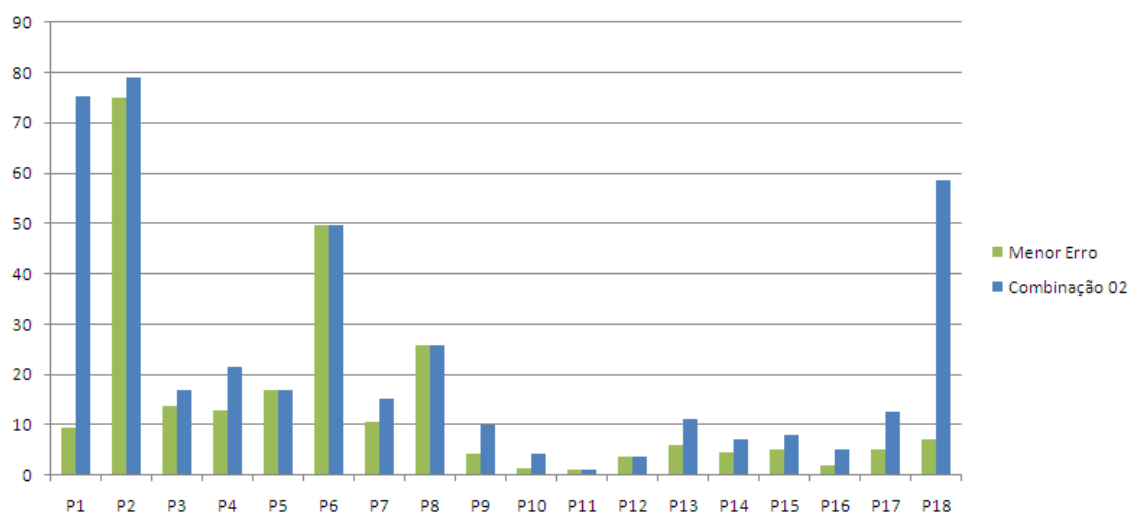


Figura 5.5. Menor Erro x Combinação 02.

Os valores de erro encontrados, em metros, são:

- Médio: 23,40;
- Detectando 1 AP: 48,46;
- Detectando 2 AP's: 11,89;
- Detectando 3 AP's: 14,09;

Do mesmo modo que realizamos as análises anteriores, verificaremos qual o motivo de o erro apresentando, em algumas situações, serem ruins.

5.3.4.1 Resultado Médio

Se analisarmos apenas o resultado final apresentado pelo erro médio, consideraremos o modelo e a combinação de perfis inviáveis, visto que o valor de 23,40 metros é ruim quando se fala de LBS em ambientes *indoor*. Porém, quando analisamos friamente os resultados, verificamos que alguns pontos que obtiveram um valor elevado foram responsáveis diretos por essa alta taxa. Apenas observando a Figura 5.5, verificamos que os pontos P1, P2, P6 e P18 apresentaram erros extremamente altos, e que esses foram fundamentais para a elevação do erro médio. Sem esses, o valor cairia para menos da metade, chegando à 11,33 metros, o que poderia até ser considerado viável, visto o modo de implantação. Outro modo de analisar esse impacto é verificar que dos 18 pontos de medidas, 13 apresentaram valores inferiores ao erro médio e 7 valores menores ou iguais à 10 metros.

Como alertamos no início, seriam considerados resultados relevantes apenas os locais aonde um número mínimo de 2 AP's fosse detectado, bem como os pontos situados na área com uma boa cobertura de sinal. Quando passamos este último fator em consideração, verificamos que o erro médio também cai para 6,12 metros, o que é considerado aceitável para esse tipo de serviço.

Com isso, verificamos que o modelo de localização utilizando os perfis da combinação 02 apresentou resultados satisfatórios quando considerados os fatores estabelecidos, porém, quando estes não foram respeitados, os erros apresentados foram altos. Para melhorá-los, algumas adaptações deveriam ser realizadas, porém falaremos sobre isso mais adiante.

5.3.4.2 Resultados Detectando 1 AP

Essa situação é a que mais apresentou erros elevados. Sempre que o número de emissores identificados era igual a 1, o erro apresentado foi muito alto, chegando sua média à 48,46 metros. Para piorar, além de receber o sinal de apenas um AP, este não chegava com qualidade, o que contribuiu ainda mais para o erro apresentado. Isso confirma as informações apresentadas inicialmente de que com essa quantidade de emissores, o modelo não se

comporta de forma viável, fazendo com que esse tipo de situação deva ser evitado.

5.3.4.3 Resultados Detectando 2 AP's

Apenas dois pontos identificaram somente 2 emissores, o P3 (16,77 metros), e o P14 (7 metros). Juntos, apresentara o erro médio de 11,89 metros, um pouco superior ao erro de 10 metros que pode ser considerado aceitável. Porém, podemos verificar que, quando consideramos apenas o ponto situado na área de boa cobertura de sinal, a medida apresentou um valor aceitável de erro.

O ponto P14 foi o único a identificar apenas 2 AP's estando em um local bem servido de sinal. Todos os outros, nesta situação, identificaram os 3 pontos de acesso do ambiente. Por esse motivo consideramos que um número mínimo de 2 AP's com boa qualidade de sinal deveriam ser identificados para um resultado satisfatório.

5.3.4.4 Resultados Detectando 3 AP's

Quando foram identificados nos locais de testes o número de 3 emissores, o erro médio calculado foi de 14,09 metros. Se levarmos em consideração apenas esse valor sem analisar os fatos, o consideraríamos elevado, porém é possível verificar que alguns pontos, situados em uma área que não possui cobertura satisfatória de sinal, influenciaram para o aumento deste valor. Quando desconsiderados, o erro cai para 6,12 metros e entra na margem aceitável para esse tipo de serviços.

Isso demonstra que com o número de 3 emissores, com boa qualidade de sinal, essa combinação de perfis também demonstrou resultados satisfatórios, visto o pequeno trabalho para a implantação em relação a outros modelos de localização existentes.

5.3.4.5 Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal

Estes são os resultados que, conforme descrito anteriormente, seriam os mais relevantes para os testes, visto que muitos modelos partem deste princípio

para determinar a localização dos dispositivos. Muitos fixam os AP's em locais estratégicos para que um número mínimo de 3, com boa qualidade de sinal, seja identificado em qualquer parte do ambiente. Em nossos testes, 8 dos 18 pontos de medição se encontravam nesta situação. Com isso, analisando seus resultados, verificamos que o erro médio apresentado é de 6,23 metros, sendo que 7 destas medidas apresentaram valores menores ou igual à 10 metros.

Considerando a taxa de 67% de precisão de até 10 metros, conforme apresentado por SHAH (2010), verificamos que quando possuímos uma boa cobertura de sinal, o modelo se apresentou de forma satisfatória utilizando esta combinação de perfis. Apesar de uma medida nesta área apresentar erro superior a este valor (P13 apresentou um erro de 11,05 metros), podemos verificar que este resultado pode ser considerado satisfatório quanto ao custo/benefício .

5.3.4.6 Resultados na Área de Boa Cobertura de Sinal Detectando, no Mínimo, 2 AP's

Em nossa área com boa cobertura de sinal, sempre o número mínimo de 2 AP's eram identificados, por isso, as análises para este tópico são as mesmas realizadas no anterior.

5.3.4.7 Análise Geral dos Resultados

Conforme esperado, esta combinação de perfis apresentou resultados satisfatórios desde que atendidas as restrições apresentadas no início. Como observamos, em locais com uma qualidade ruim de sinal ou com poucos emissores, o modelo não se comportou de maneira adequada, conforme mostrado na Tabela 5.5, porém quando o mesmo era utilizado em locais que havia um bom número de AP's e o sinal era ideal, os resultados apresentados, conforme a Tabela 5.6, se encontraram dentro do padrão aceitável para LBS em ambiente *indoor*.

Notebook 02 (Combinação 02 Com Todas as Medidas)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	5	48,46
2 AP's	2	11,89
3 AP's	11	14,09
Todas as Medidas	18	23,4

Tabela 5.5. Combinação 02 Utilizando Perfis Com Todas as Medidas.

Notebook 02 (Combinação 02 Com Medidas de 9 à 16)		
Número de AP's	Quantidade de Medidas	Erro Médio
1 AP	0	-
2 AP's	1	7,00
3 AP's	7	6,12
Todas as Medidas	8	6,23

Tabela 5.6. Combinação 02 Utilizando Perfis Com as Medidas de 9 à 16.

Para a utilização de apenas um emissor, algumas modificações deveriam ser realizadas para que a precisão de localização melhorasse. Porém, como dito anteriormente, esses assuntos serão discutidos nos capítulos finais, quando algumas propostas para a melhoria serão apresentadas para que se possa aprimorar a técnica.

Como foram apenas dois os locais que receberam os sinais de 2 AP's, sendo um na área de boa cobertura de sinal e o outro não, verificamos que o que se encontrava na primeira situação apresentou resultados satisfatórios, porém, como o número de amostras para se chegar a uma conclusão inicial é pequeno. O recomendável seria um número mínimo de 3 AP's para uma precisão mais confiável, apesar de acreditarmos que 2, com sinais de boa qualidade, apresentará resultados aceitáveis.

5.3.5 Comparativo Entre as Combinações 01 e 02 de Perfis

Os resultados apresentados por essas duas combinações de perfis foram bem semelhantes, como podemos observar na Figura 5.6 e nas Tabelas 5.3.à 5.6.

Ambos apresentaram erros altos nos mesmos pontos. Não houve grandes diferenças em suas medidas, porém, quando analisamos todas, é possível verificar que a média apresentada pela combinação 01 é inferior à da

combinação 02, mas essa diferença é de apenas 9 centímetros, o que não chega a ser relevante. O mesmo acontece quando verificamos apenas os resultados apresentados na área com boa cobertura, quando os papéis se invertem, pois em todos os pontos, a combinação 02 apresentou resultados menores ou iguais à combinação 01. Porém, quando verificamos a diferença das médias apresentadas apenas para esses locais, o valor é de 52 centímetros, o que também não é considerado alto.

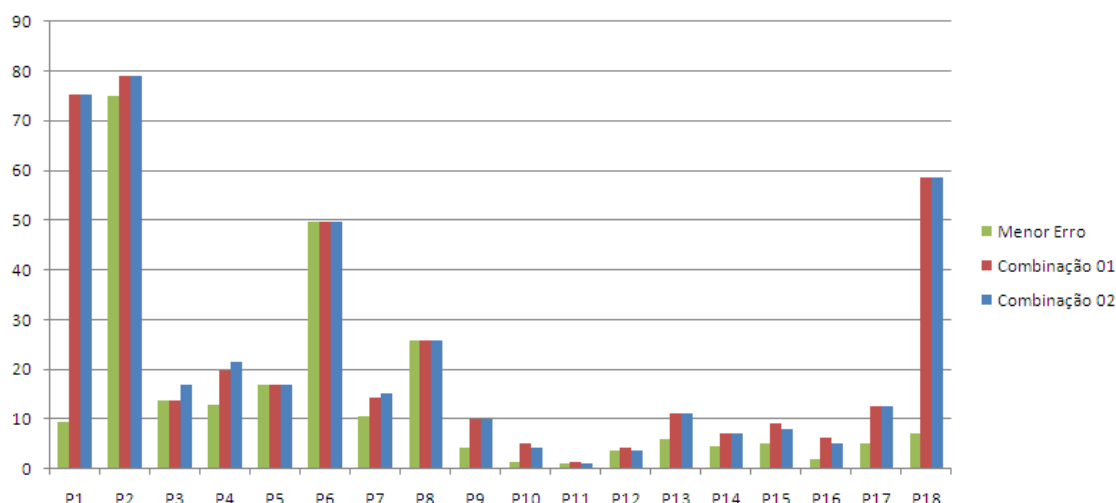


Figura 5.6. Medidas com o Menor Erro, Combinação 01 e Combinação 02.

Quando realizamos um comparativo com os menores erros, verificamos que em algumas situações, essas combinações obtiveram resultados iguais ao menor erro encontrado, porém lembramos que não se segue nenhum padrão para chegar aos menores valores, ou seja, as combinações que obtiveram os menores erros em determinado ponto nem sempre obtiveram bons resultados em outros locais.

Apesar dos resultados elevados em algumas situações, quando verificamos apenas as medidas realizadas na área de boa cobertura de sinal, o erro médio apresentou-se sempre dentro da margem de erro aceitável para a implantação de LBS em ambiente *indoor*. Porém, apesar de o erro apresentado ser superior ao de alguns modelos, é sempre válido ressaltar que, ao utilizar o conceito de perfis, nenhuma medida ou estudo é feito anteriormente no local, exceto a verificação do posicionamento dos AP's, diferentemente do próprio modelo de localização proposto neste documento e de outros referenciados. O

único conhecimento preexistente era da implantação do modelo de localização, sem a utilização de perfis, em um ambiente semelhante.

Visto isso, consideramos válida a experiência e utilização deste conceito quando já se possui o conhecimento adquirido na implantação, do modelo de localização proposto neste documento, em ambientes semelhantes ao que será implantado, desde que o objetivo não seja para serviços emergenciais, nos quais, na maioria das vezes, a precisão vem em primeiro lugar, visto que pode ser essencial para salvar vidas. Porém, para serviços como o de localização e auxílio de usuários, no qual o mesmo necessita apenas de uma referência, é recomendável, principalmente devido ao baixo custo de implantação.

5.3.6 Análise dos resultados dos 3º e 4º andares

Antes de iniciar um comparativo entre os resultados apresentados em andares diferentes, devemos ressaltar que os perfis existentes e utilizados neste documento foram desenvolvidos para os AP's situados no quarto andar, por esse motivo, a probabilidade de os resultados apresentados neste local serem melhores que em outros são maiores e isso já era esperado. O objetivo não é fazer com que os resultados se equivalham ou que os apresentados neste capítulo sejam menores, mas sim demonstrar que se pode exportar os métodos e perfis já conhecidos para a implantação de LBS em um ambiente semelhante e com precisão aceitável, desde que alguns preceitos sejam obedecidos.

Outro ponto a se ressaltar é que, como não foram realizadas nenhuma medição ou verificação do comportamento do sinal no 3º andar, houve uma pequena alteração no funcionamento do algoritmo utilizado neste local, pois não se sabia a área de cobertura dos emissores. Sendo assim, não foi possível diminuir o número de pontos candidatos, com isso, todos os pontos, separados de metro em metro em nosso ambiente, foram testados como possíveis locais em que o dispositivo móvel poderia estar. Por isso, a probabilidade de erros altos quando não se possui uma boa quantidade de emissores e/ou sinal de qualidade é muito maior.

Observados os fatos, deve-se lembrar que no 4º andar foram realizadas 23 medidas de testes, enquanto no 3º apenas 18, devido ao problema de acesso em alguns locais, visto que estes foram realizados em um

departamento ao qual não possuímos livre acesso a todas as salas. Com isso, dados os pontos apresentados, temos a seguinte relação, conforme demonstra a Figura 5.7:

- Os locais aonde foram realizadas as medidas G, H, M, N e O, no quarto andar, não possuem medidas para serem comparadas no terceiro;
- Os pontos relacionados possuem as mesmas relações de coordenadas x e y no espaço, diferenciam-se apenas na altura, ou seja, foram realizadas em andares diferentes;
- Os pontos obedecem à seguinte relação, conforme apresentado na Figura 5.7:
 - A = P1, B = P2, C = P3, D = P4, E = P5, F = P6, I = P7, J = P8, L = P9, P = P10, Q = P11, R = P12, S = P13, T = P14, U = P15, V = P16, X = P17, Z = P18;

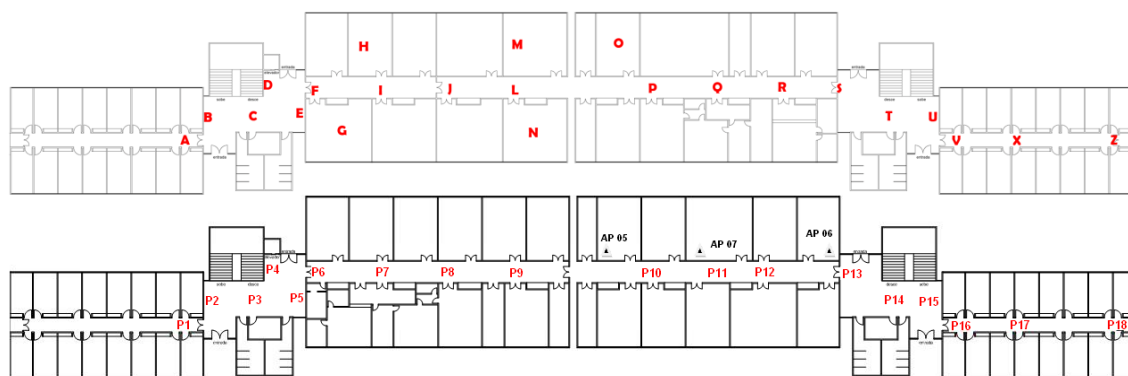


Figura 5.7. Locais das medidas nos 4º e 3º andares.

Sendo assim, para adotar um padrão de identificação, deste momento em diante, referenciaremos os locais de medidas semelhantes de acordo com a nomenclatura utilizada para os pontos do 3º andar.

A Figura 5.8 mostra um gráfico com um comparativo entre todas as medidas realizadas. Neste é possível observar que para a maioria delas, quando foram realizadas no 4º andar, os resultados apresentados foram melhores do que no terceiro, porém nem sempre isso acontece, como, por exemplo, no ponto P4, em que todos os resultados apresentados no terceiro andar foram melhores, e no P11, em que todos do terceiro andar apresentaram resultados melhores do que o notebook 01 e, no máximo, igual ao notebook 02.

Em apenas um dos locais, o P1, em ambos os andares as medidas realizadas identificaram apenas um emissor. Quando isso aconteceu para o mesmo ponto, podemos verificar que o modelo apresentou melhores resultados no quarto andar, muito provável pela eliminação dos pontos encontrados nas áreas de cobertura dos AP's que não foram identificados. Teste esse que não era realizado pelo modelo utilizado no terceiro. No ponto P2, no quarto andar, apenas o notebook 02 identificou apenas um emissor, enquanto no terceiro sempre detectou esse número mínimo. Este é outro local em que verificamos o bom comportamento, levando em consideração a dificuldade da situação, do modelo de localização quando é identificado o sinal de apenas um AP, porém verificamos a inviabilidade da utilização de perfis, visto os valores de erros apresentados.

No geral, comparando todos os locais aonde foram identificados apenas um emissor, tanto no quarto quanto no terceiro andar, os resultados apresentados no primeiro foram satisfatórios, ou seja, o modelo de localização trabalha de maneira aceitável em locais assim, porém não é recomendável a utilização da técnica de perfis nessa situação sem realizar antes algum aperfeiçoamento para diminuir os valores de erro apresentados.

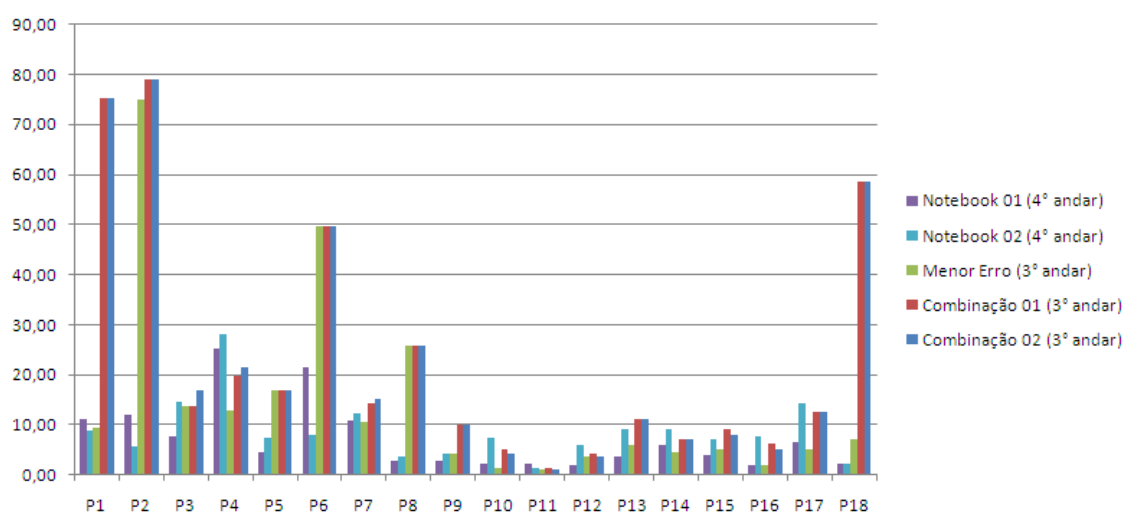


Figura 5.8. Comparativo entre as medidas dos 3º e 4º andares.

Analisando os locais aonde são identificados um número de dois emissores, não tivemos pontos semelhantes, para ambos os andares, que

receberam esta quantidade de sinais. Por isso, realizamos um comparativo geral.

Quando se trata da média geral, podemos dizer que a utilização do modelo de localização é aceitável, apresentando valores de erros válidos para este tipo de problema. Já para a utilização de perfis, apresentou resultados satisfatórios apenas em locais com uma boa cobertura de sinal ou que apresentassem sinais de boa qualidade. Quando isso ocorreu, o erro apresentado pela medida foi considerado bom.

Tanto para a utilização de perfis, quanto para a utilização apenas do modelo de localização, independente do número de AP's identificados, a qualidade do sinal recebido sempre foi fundamental para a determinação de uma localização com melhor precisão, porém quando se utiliza o conceito de perfis, este fator torna-se mais importante, visto que se trabalha com toda a área de testes, não eliminando os locais situados nas áreas de cobertura dos AP's não identificados.

Ao analisarmos os locais que receberam um número de 3 emissores, temos 4 pontos em comum nesses andares que identificaram essa quantidade de AP's nas medidas realizadas, são eles o P4, P6, P7 e P15. O primeiro foi um dos poucos pontos em que os resultados apresentados no 3º andar foram melhores do que no 4º, porém para ambas as situações, o erro apresentado não é considerado bom, o que demonstra que tanto para o modelo comum, quanto para a utilização de perfis, receber o sinal de vários AP's, mas estes chegarem com uma qualidade ruim, prejudica a localização do dispositivo.

Para a medida P6, o único resultado considerado aceitável é o apresentado pelo notebook 02, no 4º andar. Todos os outros apresentaram erros considerados altos para este tipo de problema. Já para o P7 os resultados apresentados estão mais parecidos, apresentando taxas de erro um pouco superiores para os pontos do 3º andar, exceto a medida com o menor erro, que apresentou o melhor resultado para este ponto. Dependendo do tipo de serviço a ser utilizado, os resultados deste ponto podem até ser considerados aceitáveis, porém ultrapassam limite de 10 metros considerado ideal por SHAH (2010).

O ponto P15 foi o melhor ponto em comum para as medidas realizadas no mesmo local que identificaram o número de 3 emissores. Todos os erros

apresentados são considerados aceitáveis, independente se ele tenha sido realizado no 3° ou 4° andar. O que faz com que esse resultado seja considerado bom nos dois locais é que, em ambos, este ponto se encontrava na área de boa cobertura de sinal, e isso influencia muito, tanto quando utilizamos o modelo simples quanto utilizamos o conceito de perfis.

O notebook 01 apresentou mais um ponto em comum com as medidas realizadas no terceiro andar que se encontram nesta situação, o P5. Para este, os resultados apresentado no 4° andar são considerados satisfatórios, diferentemente dos apresentados no 3°, que fogem um pouco do aceitável para o tipo de serviço.

Quando analisamos os resultados apresentados para as medidas com 3 emissores, independente dos pontos em que foram realizadas, verificamos que para o modelo de localização eles se apresentaram viáveis na maioria dos locais, independente da área de cobertura, diferentemente da utilização de perfis, que apresentou valores grandes de erro quando os sinais recebidos eram ruins, mesmo se o número de AP's identificados fosse 3. Se passarmos a considerar apenas a área de boa cobertura de sinal, tanto o modelo de localização quanto a utilização de perfis apresentaram resultados satisfatórios quando receberam sinais de boa qualidade desta quantidade de AP's, sendo que a diferença, tanto para o modelo de localização quanto para a utilização de perfil, cai significativamente quando se compara a média de todas as medidas com a das realizadas apenas nesta área.

Como no terceiro andar havia apenas 3 emissores, enquanto o 4° possuía 4, não realizamos um comparativo entre os andares em relação a esta quantidade de AP's, visto que não teríamos um parâmetro em comum para realizar esta comparação. Porém é válido ressaltar que as medidas que se encontraram nesta situação sempre apresentaram valores aceitáveis de erro.

5.4 Parâmetros Importantes Para a Definição de Perfis

Quando iniciamos o nosso estudo sobre a implantação de LBS utilizando o conceito de perfis, não sabíamos quais fatores deveriam ser levados em consideração para definirmos qual perfil deveria ser utilizado por um determinado AP e se realmente havia um que se adequasse ao mesmo. Por

esse motivo, realizamos todas as combinações possíveis e analisamos os resultados apresentados para verificar quais eram os fatores semelhantes entre os pontos de acesso e os perfis considerados ideais poderiam ser utilizados por esses.

Observando as combinações que apresentaram os melhores resultados, verificamos que os AP's possuíam algumas semelhanças com os perfis adotados. Os principais fatores observados foram:

- Modelo e fabricante do dispositivo;
- Posicionamento do AP no ambiente;

O AP 06, que apresentou sempre os melhores resultados utilizando o perfil do AP 04, era da mesma marca e modelo deste, o mesmo acontecendo com o AP 07 e AP 02, porém o 07 também se adaptou bem ao perfil do AP 01. Apesar de estes últimos serem de fabricantes e modelos diferentes, se encontram posicionados em salas com as mesmas características relacionadas à dimensão, o que provavelmente fez com que o comportamento de seus sinais se assemelhasse. O mesmo acontece com o AP 05, que utilizou o perfil do AP 01. Este AP também poderia ter utilizado o perfil do AP 02, para o qual também apresentou bons resultados e encontra-se em locais semelhantes.

Nem sempre será possível utilizar um perfil já existente. Talvez, ao se implantar LBS utilizando este conceito, seja necessário, para alguns AP's, criar um perfil próprio, visto que este pode não se adaptar a algum já cadastrado, porém, quanto maior for a quantidade de perfis conhecidos, menor tende a ser a probabilidade deste tipo de ocorrência.

5.5 Análise da Implantação de LBS Utilizando Perfis

Quando se fala em LBS em ambientes *indoor*, uma quantidade imensa de aplicativos e serviços vem em mente, podendo esses ser de auxílio aos usuários, emergenciais, comerciais etc. Destes, o único que não é tolerante a erros maiores são os emergenciais, devido à necessidade de precisão nestas situações. Quando se trata das outras situações, a tolerância a erro é um pouco maior, visto que o objetivo é, na maioria das vezes, apenas apresentar

uma referência de localidade para um usuário, bem como oferecer serviços à pessoas próximas de um determinado local.

A utilização do conceito de perfis para a localização de dispositivos apresentou, quando aplicada em áreas de boa cobertura de sinal, uma média de erro tolerável para serviços não emergenciais. Observada sua simplicidade e baixo custo para implementação, pode ser aplicada em situações como as citadas anteriormente, desde que já se possua um conhecimento prévio de implementações em locais semelhantes.

Apesar de os perfis utilizados em nossos testes terem apresentados resultados satisfatórios quando aplicados em um ambiente semelhante, isso pode nem sempre acontecer, visto que alguns AP's podem não se comportar de maneira semelhante aos perfis existentes. Nestes casos, será necessária a criação de um novo perfil para cada emissor que se encontrar nesta situação. Este problema tende a diminuir à medida que o número de perfis cadastrados aumentarem.

Por ser um estudo inicial e sem parâmetros anteriores para comparação, alguns resultados tendem a melhorar à medida que novos conceitos forem aplicados, ao algoritmo e ao ambiente, para melhorar a precisão em algumas situações. Algumas dessas propostas serão apresentadas nos capítulos de conclusões e trabalhos futuros.

Analisando os resultados de uma forma geral, o objetivo proposto no início do projeto foi alcançado, visto que o processo de implementação de LBS em ambientes semelhantes utilizando perfis foi altamente reduzido, sendo possível do modelo em um único dia, sendo necessário apenas a adaptação dos perfis aos AP's disponíveis no ambiente. Além disso, os resultados apresentados quando se possui uma boa cobertura de sinal são viáveis para a maioria das aplicações que utilizam este tipo de serviço. Este conceito tende a ser melhorado com o tempo, da mesma forma que muitos modelos de localização foram se aprimorando, utilizando novas técnicas, novos conhecimentos adquiridos com o tempo e a realização de novos experimentos.

A utilização deste conceito facilita a expansão deste tipo de serviço nos mais variados setores, pois o custo e o tempo de implantação serão reduzidos se comparado com a maioria dos modelos estudados e referenciados neste documento.

Capítulo 6 – Conclusões e Trabalhos Futuros

O trabalho desenvolvido fez duas propostas iniciais: a primeira é o desenvolvimento de um modelo de localização para ambientes *indoor* que possa ser utilizado nos mais variados locais, apresentando resultados viáveis. A outra proposta é a utilização deste mesmo modelo, com pequenas alterações, para implantação de LBS em um ambiente semelhante a um que já possua o modelo em funcionamento, utilizando os perfis de localização já disponíveis. Nesta segunda proposta, o objetivo principal é a redução do trabalho inicial e retrabalho realizado pela maioria dos modelos estudados, sem perder muito desempenho quanto à precisão da localização.

Visto isto, este capítulo será dividido em conclusões e trabalhos futuros para o modelo de localização bem como para a utilização de perfis para a implantação de LBS, e uma avaliação geral de todo o projeto realizado.

6.1 Conclusões Sobre o Modelo de Localização

O modelo apresentado neste documento propõe uma maneira simples e menos custosa para se implantar LBS nos mais variados ambientes. Após um estudo inicial sobre o comportamento do sinal no mesmo e a criação do perfil de cada AP local, o algoritmo trabalha de forma simples e rápida para apresentar ao usuário o seu provável posicionamento.

Durante o processo de desenvolvimento, muitos testes e ajustes foram realizados até que se chegasse ao algoritmo mostrado, que apresenta uma precisão aceitável na maioria das situações, inclusive em algumas consideradas críticas por grande parte dos modelos estudados, que é quando

se possui como referência o sinal e o posicionamento de apenas um emissor. Quando utilizado em locais com boa cobertura de sinal, o modelo proposto apresentou erros compatíveis com a maioria dos modelos referenciados, porém alguns utilizam uma quantidade de AP's muito maior do que o utilizado aqui.

Uma questão que ficou clara nos locais que apresentaram valores elevados de erro é que quando se recebe o sinal de um ou mais dispositivos e este chega com uma potência baixa, prejudica muito o processo de localização. Todos os pontos que apresentaram um valor alto de erro se encontravam nesta situação. Para o nosso modelo, esse fator se apresentou muito mais problemático do que o número de emissores identificados.

De certa forma, nosso modelo pode ser considerado de simples implementação se comparado a alguns que utilizam redes neurais (AHMAD, 2006), conhecimentos matemáticos avançados (YOUSSEF, ABDALLAH, ASHOK, 2005), possui um trabalho inicial excessivo (KAEMARUNGSI, KRISHNAMURTHY, 2004), utilizam um número grande de AP's para a realização da localização (ZHANG, ZHANG, 2007) e até mesmo a exigência de algumas particularidades no dispositivo móvel a ser utilizado (CHINTALAPUDI, IYER, PADMANABHAN, 2010).

Buscamos com este trabalho fazer com que o processo de implantação LBS utilizando nosso modelo, desde que siga as informações apresentadas no documento, possa ser realizado por profissionais que possuam um bom conhecimento em programação, porém sem a necessidade de conhecimentos avançados em outras áreas ou sobre determinado assunto. Por ser um serviço que está ganhando bastante visibilidade nos últimos anos, buscamos um modelo que facilitaria expansão deste nos mais variados setores.

Visto isso e os resultados apresentados, concluímos que o objetivo traçado para o modelo desenvolvido neste projeto foi alcançado.

6.2 Conclusões Sobre a Utilização de Perfis Para a Implantação de LBS

Outro objetivo a ser alcançado em nosso projeto foi o de facilitar a expansão deste tipo de serviço em ambientes nos quais já se possuía um conhecimento prévio devido a implantações anteriores. Os modelos estudados e referenciados neste projeto não utilizam este conceito, ou seja, em qualquer

local onde se deseja implantá-los, o trabalho a ser realizado será o mesmo. Este problema pode acabar influenciando na desistência de implantação destes serviços em locais com uma estrutura maior, tais como empresas, universidades etc., bem como aqueles que não possuam um aporte financeiro para obtenção dos componentes iniciais necessária.

Partindo do princípio que já implantamos o nosso modelo de localização em um determinado local, utilizamos os conhecimentos adquiridos neste processo para a implantação em um ambiente semelhante. Visto isso, como cada AP utilizado possui um perfil com suas características (marca, modelo, equação de localização etc.), estes possam ser utilizados para os pontos de acesso de outros andares, com características semelhantes, para a realização do serviço de localização.

Por ser um trabalho para o qual não conseguimos nenhuma referência para a realização de um comparativo, analisamos os resultados apresentados e verificamos em quais situações este processo é viável. Com isso, verificamos que quando se utiliza este conceito em locais que possuem uma boa cobertura de sinal, os resultados apresentados são viáveis, principalmente se observarmos o custo praticamente zero para a implantação. Na maioria das vezes, a única necessidade é verificar a quantidade e o posicionamento dos AP's no ambiente de testes.

A utilização de perfis não apresentou resultados satisfatórios quando a medida identificava poucos emissores e, principalmente, quando recebeu sinais com baixa potência. Este problema já era esperado, pois, como já havíamos citado, algumas adaptações foram necessárias no algoritmo para permitir a implantação deste serviço com um mínimo de esforço possível.

O objetivo inicial não era apresentar resultados semelhantes ou melhores que os modelos de localização existentes estudados e até mesmo o desenvolvido neste projeto, mas sim demonstrar que é possível reduzir o trabalho para a implantação de LBS em ambientes para os quais já são conhecidas as principais características.

Observando isso, é possível verificar que o objetivo traçado foi alcançado, visto que, quando alguns requisitos são atendidos, a utilização do conceito de perfis apresenta resultados satisfatórios, algumas vezes semelhantes ao de outros modelos, porém com um custo muito inferior.

6.3 Trabalhos Futuros Relacionados ao Modelo de Localização

Quando se trata apenas do modelo de localização, apesar de os resultados apresentados serem viáveis para a maioria das situações, em algumas, o modelo não apresentou bons resultados. Sugerimos modificações a serem testadas que provavelmente irão diminuir o erro tanto nos locais que apresentaram resultados satisfatórios quanto nos outros.

A primeira sugestão de melhoria é diminuir ainda mais os pontos que podem ser considerados como possíveis candidatos. O modelo atual trabalha com a eliminação de dois tipos de pontos, aplicando a eles erros infinitos. A primeira delas é desconsiderando os locais fora da área construída do prédio e o outro é eliminando os pontos que estão dentro da área de cobertura dos AP's não identificados na medida. Qualquer outro ponto fora dos citados anteriormente poderão ser escolhidos como provável local do dispositivo móvel.

Uma sugestão de melhoria a ser testada neste quesito, para diminuir ainda mais o número de pontos candidatos, é considerar somente aqueles que estão dentro da área de cobertura dos pontos detectados. Quando o sinal de mais de um emissor for detectado, considerar apenas os pontos que estão nos locais de intercessão da área de cobertura destes. Com isso é provável que algumas taxas de erros diminuam, visto que o número de possíveis pontos candidatos também irá diminuir.

Outra sugestão a ser testada é, como ficou claro nos resultados que os sinais que chegam com maior qualidade são mais significativos e importantes que os de qualidade inferior, dar uma prioridade ainda maior para estes em relação aos outros. Nosso projeto já utiliza o que chamamos de fator de prioridade que auxilia na maioria das vezes, porém vimos que em algumas situações o erro apresentado era alto, mesmo utilizando este fator. Algumas adaptações poderiam ser testadas para aumentar essa prioridade, como elevar o maior fator de prioridade à alguma potência ou multiplicá-lo por alguma constante são algumas possibilidades, porém outras ideias podem surgir para fazer com que os melhores sinais sejam mais bem aproveitados.

Ainda relacionado à potência recebida, quando um sinal chega com uma potência baixa, muitas vezes é prejudicial para a localização, mas, como nem

sempre se possui uma grande quantidade de emissores, descartá-lo pode não ser a melhor opção. Porém, caso o número de AP's disponíveis no ambiente seja maior, e o número de pontos de acesso identificados em uma medida for maior do que 3, trabalhar apenas os 3 melhores ou com os sinais acima de -75 dbm provavelmente fará com que o erro diminua. Este valor de potência de sinal foi escolhido de acordo com os testes realizados. Sempre que a potência recebida dos AP's identificados era superior a este valor, o erro se apresentou dentro do limite aceitável.

Caso o local seja de fácil acesso e antes da implantação do modelo seja possível verificar o status dos AP's, a realização da configuração manual dos canais em que estes estão trabalhando pode eliminar ou minimizar interferências que possam estar ocorrendo, caso estes não tenham sido instalados da maneira recomendada. Isso fatalmente fará com que uma melhor propagação de sinal aconteça no ambiente, podendo aumentar a área de cobertura dos pontos de acesso, facilitando a localização dos dispositivos móveis.

Outra adaptação que poderia ser realizada para melhorar a precisão seria a utilização de pontos de acesso de andares superiores/inferiores. Porém, como estes podem nem sempre ser controlados, deve-se tomar certo cuidado quando os utilizar.

Caso o usuário esteja conectado em algum dos pontos de acesso disponíveis e utilizado pelo modelo, isto também pode ser considerado para determinar a localização, visto que é uma referência que pode ser utilizada para determinar o posicionamento do usuário no ambiente, utilizando como parâmetro a qualidade do sinal recebido pelo dispositivo. Esta sugestão também fica como trabalho futuro para a verificação de melhoria da precisão do modelo de localização

6.4 Trabalhos Futuros Relacionados à Utilização de Perfis Para a Implantação de LBS

Como já dito anteriormente, por ser um trabalho para o qual não possuíamos resultados de referência para realizar alguma comparação, procuramos apenas demonstrar ser viável a utilização deste conceito. A partir desta viabilidade,

inicia-se o processo de melhora do mesmo, principalmente no quesito precisão em algumas situações. Apesar de apresentar resultados satisfatórios em locais com boa cobertura de sinal, verificou-se que em outros locais os resultados devem ser melhorados. Para isto, seguem algumas sugestões.

O objetivo inicial é realizar a implantação com um trabalho mínimo, porém, talvez seja necessário verificar algumas informações para que se melhore a precisão em algumas situações. Uma delas é verificar a área de cobertura dos AP's do novo ambiente, porém, para isto, não é necessário realizar a quantidade de medidas realizada no quarto andar. Com poucas medições é possível verificar até onde chega o sinal de cada emissor situado no novo ambiente. A partir daí, algumas alterações podem ser realizadas para a diminuição do erro.

A primeira é utilizar o mesmo algoritmo utilizado no quarto andar, visto que, para o terceiro, desabilitamos a função que desconsiderava os pontos dentro da área de cobertura de um AP não identificado, pois não sabíamos quais eram as áreas. Porém, a partir do momento em que possuímos essa informação, poderemos utilizá-la para diminuir o número de pontos candidatos e, conseqüentemente, o erro apresentado em algumas situações. Erros grandes, principalmente como os apresentados pelos pontos P1, P2, P6 e P18, da Figura 5.8, para o terceiro andar, certamente não aconteceriam, visto que estes locais provavelmente estão na área de cobertura de algum AP que não foi identificado na medida e seriam descartados quando utilizado esta técnica.

A partir do momento que se sabe a área de cobertura de sinal de todos os AP's, também é possível realizar a mesma alteração sugerida para o modelo de localização, no tópico anterior, que é de considerar também somente os pontos que se encontram na intercessão da área de cobertura dos emissores identificados na medida. Esse fator também diminui o número de pontos candidatos e provavelmente aumenta a precisão da localização.

Principalmente quando se tratou da utilização do conceito de perfis para a localização, a recepção de um sinal com qualidade ruim fazia com que a precisão da localização fosse extremamente prejudicada. Por este motivo também seria aconselhável verificar, como já sugerido para o modelo de localização, meios de priorizar ainda mais os sinais com melhor qualidade, seja

aumentando os valores atribuídos ao fator de prioridade ou utilizando qualquer outro meio viável para isso.

Assim como as duas últimas sugestões citadas neste tópico, todas as outras que foram sugeridas para o modelo de localização proposto neste documento também poderiam ser ajustadas para a utilização do conceito de perfis. A configuração dos canais dos AP's e a eliminação de sinais ruins, desde que se possua uma boa quantidade de sinais recebidos, seriam facilmente implantadas. Já a utilização de pontos de acesso externos também pode ser utilizada com o conceito de Perfis, porém deve se ter atenção, visto que um AP não poderá utilizar o mesmo perfil, nas situações em que seja considerado um AP do ambiente e naquela em que seja considerado um AP externo, visto que a sua área de cobertura no local em que foi implantado LBS será diferente.

6.5 Conclusão Final Sobre o Projeto

Quando iniciado, a expectativa era a desenvolver um modelo de localização que fosse possível ser implantado em ambientes semelhantes de uma maneira fácil e rápida. Revisando os modelos mais referenciados na área, não observamos a preocupação na redução do trabalho para esta situação, sendo que, na maioria das vezes, o objetivo era a melhora da precisão, muitas vezes em poucos centímetros. Alguns até se preocupavam em diminuir o custo inicial de implantação, pecando do um pouco na precisão, o que é aceitável em várias situações, pois verificamos que muitos objetivos para os quais se deseja a implantação deste serviço não necessitam de uma exatidão na determinação da posição, aceitando valores maiores para os erros apresentados.

Visto isso procuramos desenvolver um modelo que apresentasse uma boa relação custo/benefício, ou seja, uma precisão aceitável para a maioria dos serviços de localização, e um custo de implantação reduzido. Além disso, buscamos um modo de diminuir significativamente o tempo e custo quando se tratava de locais para os quais já havia um conhecimento prévio.

Analisando os resultados apresentados neste trabalho, é possível observar os objetivos traçados inicialmente foram alcançados, pois o modelo desenvolvido apresentou bons resultados se comparado aos principais

referenciados e estudados, e a utilização do conceito de perfis para a localização se demonstrou viável, desde que atendidas algumas necessidades previamente estabelecidas.

Dos dois objetivos alcançados, o que mais apresenta impacto para a área é o segundo, visto a facilidade que este apresenta em relação a outros modelos para a implantação de LBS em ambientes conhecidos. Através deste trabalho, outros estudos podem ser abordados para uma melhora cada vez maior deste conceito, principalmente quanto à precisão apresentada em algumas situações, visto que é viável a utilização deste tipo de técnica, principalmente quando levamos em consideração o custo/benefício. Para isso, algumas sugestões de melhorias foram apresentadas para tentar sanar alguns problemas.

Quanto ao modelo de localização, o impacto não é o mesmo se levarmos em consideração que já existem outros modelos disponíveis para estudo que realizam as mesmas funções, alguns até com uma melhor precisão, porém quanto ao tempo e dificuldade de implantação, o modelo apresentado neste trabalho é mais simples do que outros referenciados. Isto, muitas vezes, é um diferencial na hora de se escolher qual técnica a ser utilizada, visto que em algumas situações, uma taxa de erro é aceitável e se busca um modelo mais simples e fácil de ser utilizado.

No início, não havia a certeza se o modelo apresentado, utilizando o conceito de perfis, apresentaria a viabilidade demonstrada nas páginas anteriores. Porém, chegando ao final, é possível afirmar sua compatibilidade e que o mesmo pode ser bem aproveitado quando se busca um modelo com boa precisão, simples implementação e custo altamente reduzido para expansão em ambientes semelhantes.

APÊNDICE A - Locais das Medidas Iniciais e Pontos de Acesso Utilizados

Aqui são apresentados os locais aonde foram realizadas as medidas iniciais, bem como o posicionamento dos AP's utilizados para a realização dos testes. Todos estes se encontram no 4º andar do prédio do CCE da UFV.

Para melhor identificação dos locais das medidas e dos AP's, é apresentado o mapa completo e o mesmo dividido em duas partes.

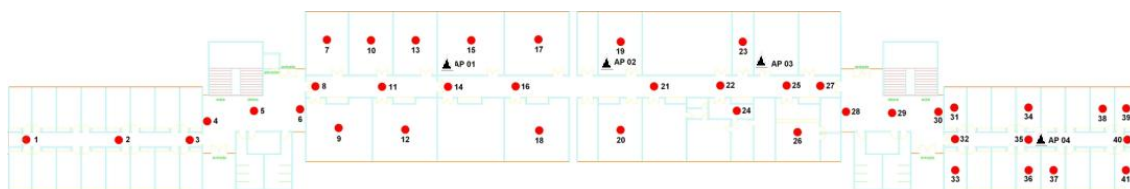


Figura A.1. Mapa completo do 4º andar, com os locais das medidas e os AP's identificados.

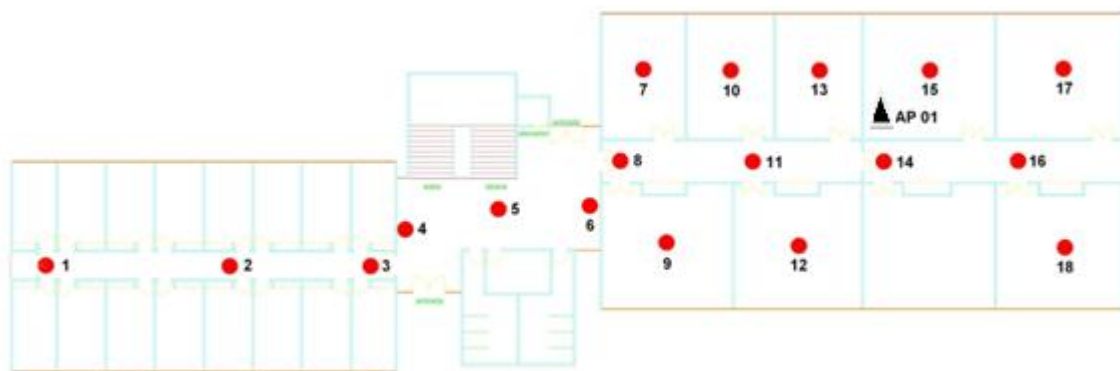


Figura A.2. Primeira metade do Mapa do 4º andar, com os locais das medidas e os AP's identificados.

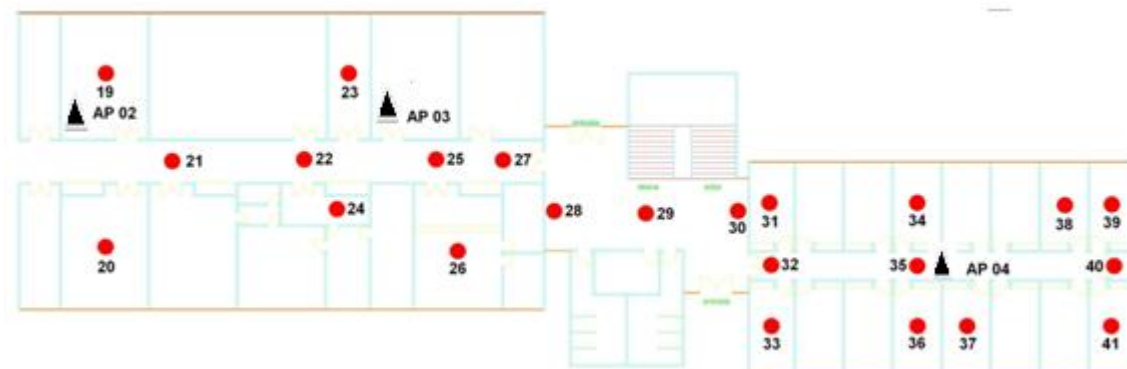


Figura A.3. Segunda metade do mapa do 4º andar, com os locais das medidas e os AP's identificados.

Para cada local de medida identificado nas figuras anteriores, segue abaixo a descrição de sua localização:

Local 01 – Ala A, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 415A.

Local 02 – Ala A, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 408A.

Local 03 – Ala A, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 402A.

Local 04 – Ala A, hall principal, extremo ao lado do corredor dos gabinetes dos professores.

Local 05 – Ala A, hall principal, centro.

Local 06 – Ala A, hall principal, extremo ao lado do corredor principal.

Local 07 – Sala 402, centro.

Local 08 – Corredor principal, em frente à sala 401.

Local 09 – Sala 401, centro.

Local 10 – Sala 404, centro.

Local 11 – Corredor principal, em frente à sala 404.

Local 12 – Sala 403, centro.

Local 13 – Sala 406, centro.

Local 14 – Corredor principal, em frente à sala 405.

Local 15 – Sala 408, centro.

Local 16 – Corredor principal, em frente à sala 407.

Local 17 – Sala 410, centro.

Local 18 – Sala 407, centro.
Local 19 – Sala 414, centro.
Local 20 – Sala 411, centro.
Local 21 – Corredor principal, em frente à sala 413.
Local 22 – Corredor principal, em frente à sala 415.
Local 23 – Sala 418, centro.
Local 24 – Secretaria do DPI, em frente à sala de chefia.
Local 25 – Corredor principal, em frente à sala 417.
Local 26 – Sala 417, centro.
Local 27 – Corredor principal, em frente à sala 422.
Local 28 – Ala B, hall principal, extremo ao lado do corredor principal.
Local 29 – Ala B, hall principal, centro
Local 30 – Ala B, hall principal, extremo ao lado do corredor dos gabinetes dos professores.
Local 31 – Sala 402B, centro.
Local 32 – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 402B.
Local 33 – Sala 401B, centro.
Local 34 – Sala 408B, centro.
Local 35 – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 408B.
Local 36 – Sala 407B, centro.
Local 37 – Sala 409B, centro.
Local 38 – Sala 414B, centro.
Local 39 – Sala 416B, centro.
Local 40 – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 416B.
Local 41 – Sala 415B, centro.

Para cada ponto de acesso identificado nas figuras anteriores, segue abaixo a descrição de sua localização:

AP 01 – Sala 408 – Laboratório de Ensino. (Departamento de Informática)

- Modelo: DLink WRB 2310
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 11

AP 02 – Sala 414 – Laboratório de Pós-graduação. (Departamento de Informática)

- Modelo: DLink DI 524
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 1

AP 03 – Sala 420 – Laboratório de Pesquisa. (Departamento de Estatística).

- Modelo: DLink WRB 2310
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 11

AP 04 – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, alto, em frente à sala 408B.

- Modelo: DLink DI 524
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 6

APÊNDICE B - Mapas de Cobertura de Sinal

Aqui são apresentados, para cada um dos AP's utilizados em nossos testes, os mapas de cobertura de sinal, demonstrando em cada um destes os prováveis locais aonde é possível receber, através de dispositivos que possuam antenas receptoras, o sinal transmitido por estes, e qual a provável potência recebida.

Para cada AP foram gerados 2 mapas, sendo um de contorno e outro de calor, contendo as informações referentes à cobertura do sinal, sendo que cada um destes possui uma legenda na qual é possível verificar os prováveis valores de potência que serão recebidos nos locais.

O menor valor percebido nas medições realizadas foi o de -92dbm. Portanto consideramos em nossos testes este como sendo o mais baixo que um receptor possa identificar para qualquer AP.

As áreas identificadas em preto são os prováveis locais aonde não há cobertura de sinal para um determinado ponto de acesso.

AP 01

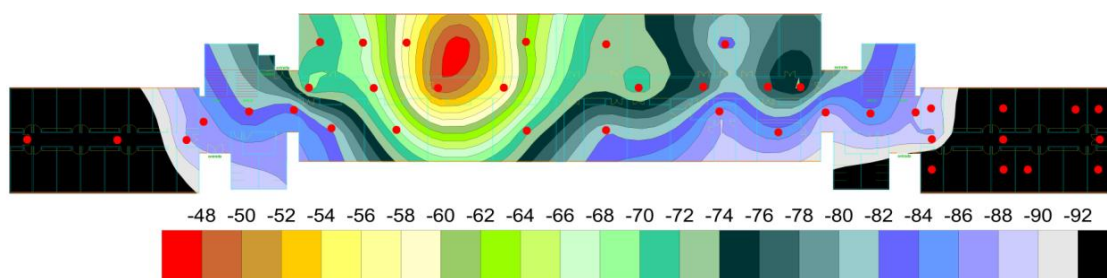


Figura B.1. Mapa de contorno do AP 01.

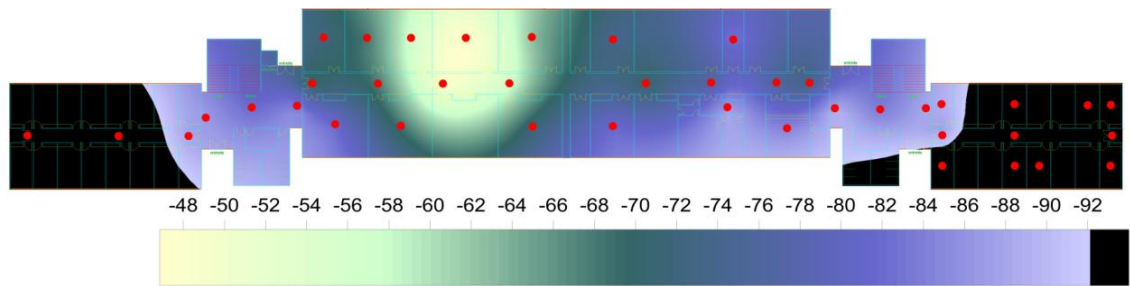


Figura B.2. Mapa de calor do AP 01.

AP 02

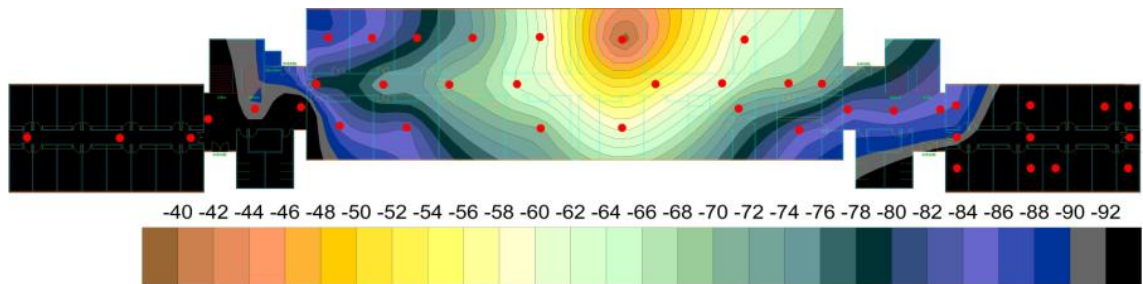


Figura B.3. Mapa de contorno do AP 02.

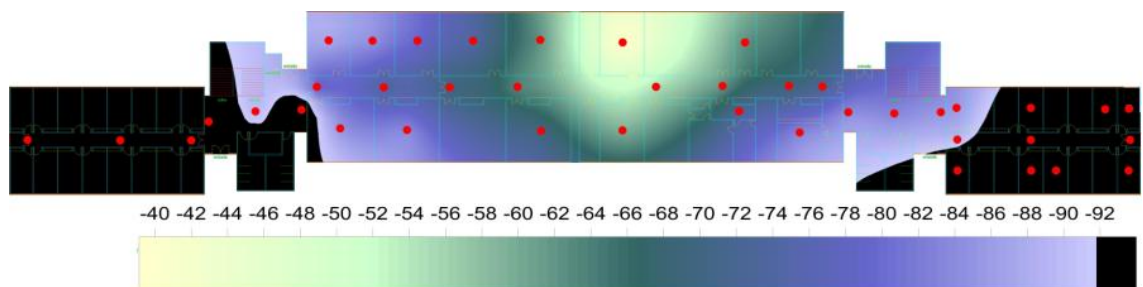


Figura B.4. Mapa de calor do AP 02.

AP 03

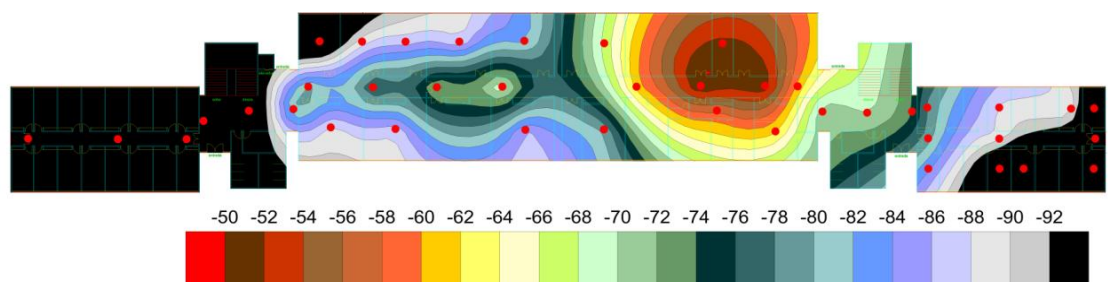


Figura B.5. Mapa de contorno do AP 03.

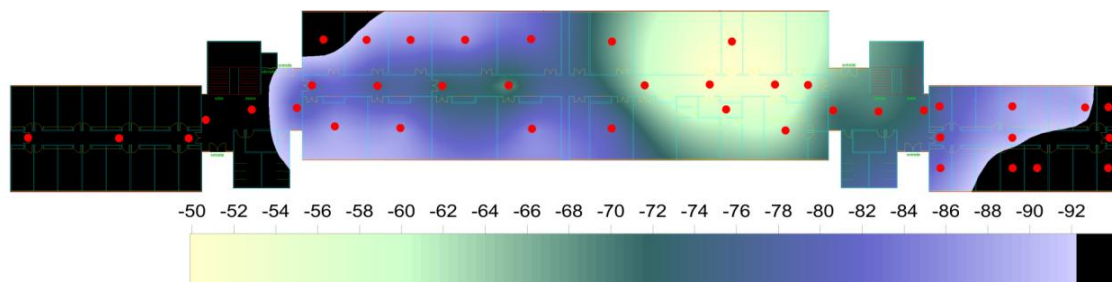


Figura B.6. Mapa de calor do AP 03.

AP 04

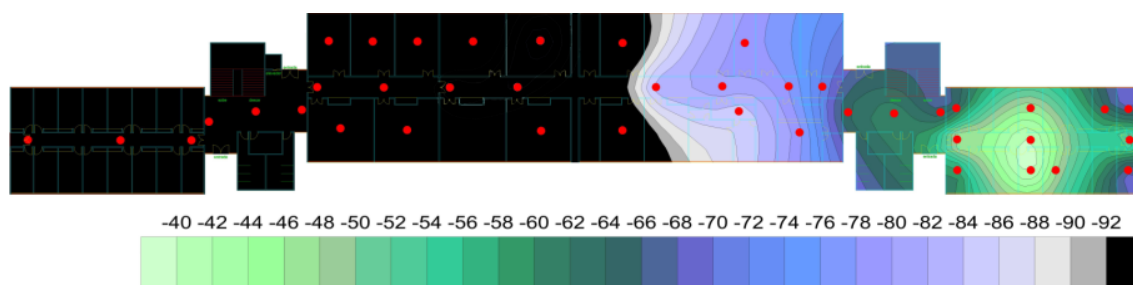


Figura B.7. Mapa de contorno do AP 04.

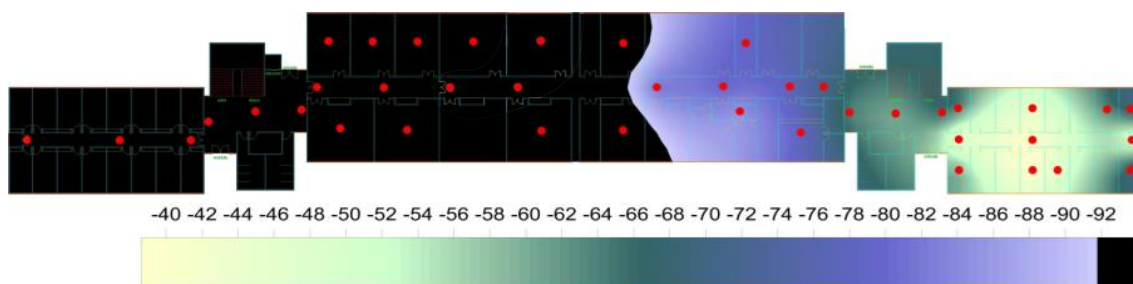


Figura B.8. Mapa de calor do AP 04.

APÊNDICE C - Gráficos e Equações dos Pontos de Acesso

Aqui são apresentados os gráficos relacionados às medidas realizadas em cada ponto identificado no mapa da Figura A.1, bem como a equação que estima a distância entre usuário e cada ponto de acesso.

Para determinar a equação a ser utilizada para cada AP, geramos para estes um o gráfico que demonstra qual é a relação entre a distância real entre um determinado ponto de acesso e os locais aonde foram realizadas medições, juntamente com a potência do sinal que é recebida. Através desta relação, foi gerada uma equação para cada AP, a qual é utilizada em nosso modelo para estimar a distância entre um dispositivo móvel e um ponto de acesso. Esta equação recebe como parâmetro o RSSI (em dbm) e retorna a distância, em centímetros, entre o AP e o DM.

AP 01

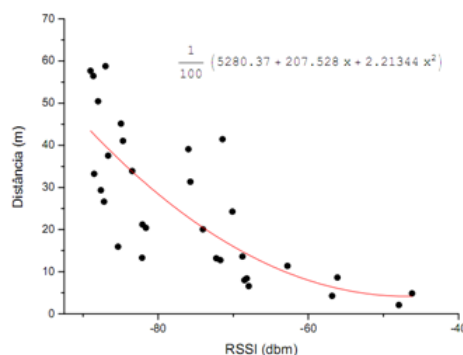


Figura C.1. Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 01.

AP 02

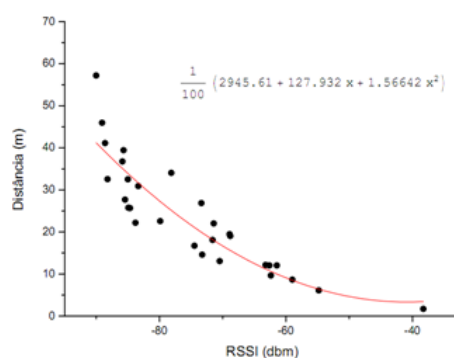


Figura C.2. Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 02.

AP 03

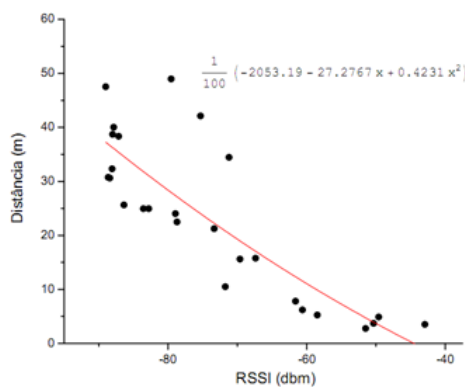


Figura C.3. Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 03.

AP 04

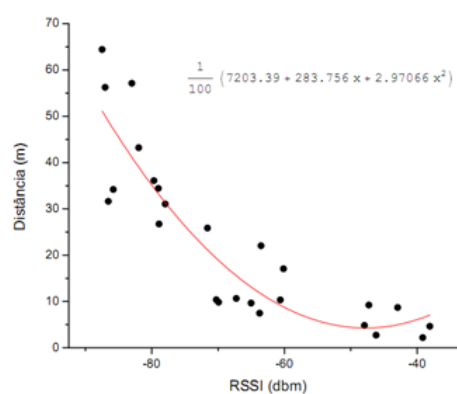


Figura C.4. Relação Distância x RSSI e a equação para o AP 04.

APÊNDICE D – Testes

Aqui são apresentadas as descrições dos locais dos testes realizados para a validação do modelo de localização apresentado neste documento, bem como o conceito de perfis. Para o primeiro foram utilizados 2 notebooks diferentes, sendo que um foi o mesmo utilizado para a coleta das informações apresentadas nos apêndices anteriores. Para o segundo, apenas o notebook que não participou da coleta de informações foi utilizado

Para a validação do modelo de localização, realizamos medições em nosso ambiente de testes para verificar como o nosso modelo se comportaria para determinar o posicionamento dos dispositivos móveis. Foram utilizados dois notebooks diferentes, que serão apresentados mais adiante. A Seguir, seguem as informações referentes aos locais de testes, sendo que em cada um destes pontos foram realizadas 20 medições com um intervalo de 100 milissegundos entre cada uma. O valor do parâmetro a ser utilizado pelo modelo de localização como potência do sinal será a média dessas observações.

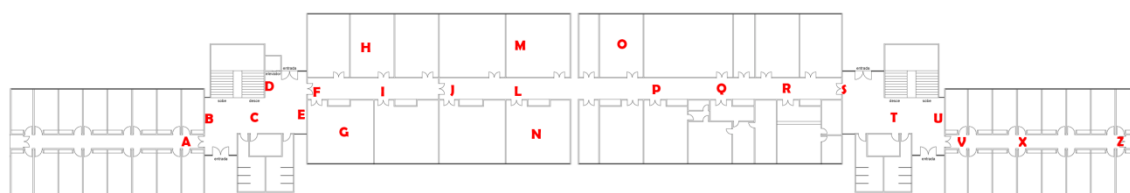


Figura D.1. – Locais das medidas de testes.

Local A – Ala A, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 402A.

Local B – Ala A, hall principal, extremo ao lado do corredor dos gabinetes dos professores.

Local C – Ala A, hall principal, centro.

Local D – Ala A, hall principal, ao lado do elevador.

Local E – Ala A, hall principal, extremo ao lado do corredor principal.

Local F – Corredor principal, em frente à sala 401.

Local G – Sala 401, centro.

Local H – Sala 404, centro.

Local I – Corredor principal, em frente à sala 404.

Local J – Corredor principal, em frente à sala 405.

Local L – Corredor principal, em frente à sala 407.

Local M – Sala 410, centro.

Local N – Sala 407, centro.

Local O – Sala 414, centro.

Local P – Corredor principal, em frente à sala 413.

Local Q – Corredor principal, em frente à sala 415.

Local R – Corredor principal, em frente à sala 417.

Local S – Ala B, hall principal, extremo em frente à porta para o corredor principal.

Local T – Ala B, hall principal, centro

Local U – Ala B, hall principal, extremo ao lado do corredor dos gabinetes dos professores.

Local V – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 402B.

Local X – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 408B.

Local Z – Ala B, corredor dos gabinetes dos professores, em frente à sala 416B.

D.1 Testes Utilizando o Notebook 01

O notebook 01, utilizado nas coletas apresentadas nos apêndices anteriores e na validação do modelo, é um HP Pavilion DV4, com processador Intel Dual Core T4300, 2.1 GHz, 3 GB de memória, adaptador de rede Intel WiFi Link 1000 BGN e sistema Operacional Windows 7 de 32 bits. Com este notebook, utilizamos uma ferramenta desenvolvida que utiliza o nosso modelo de

localização e gera um arquivo com as informações da descrição do local, AP's encontrados, distância estimada entre o dispositivo móvel e estes, e a coordenada provável que o mesmo se encontra em nosso ambiente de teste.

Mais detalhes sobre a placa wi-fi deste dispositivo pode ser encontrado no site do fabricante no site do fabricante (INTEL, 2009).

D.2 Testes Utilizando o Notebook 02

O notebook 02, que passou a ser utilizado neste projeto a partir deste teste, é um DELL Inspiron 1545, com processador Intel Core 2 Duo T6500, 2.1 GHz, 3 GB de memória, adaptador de rede Intel WiFi Link 5100 AGN e sistema Operacional Windows Vista de 32 bits. Com este notebook, utilizamos a a mesma aplicação desenvolvida para determinar a localização do dispositivo móvel.

Mais detalhes sobre a placa wi-fi deste dispositivo pode ser encontrado no site do fabricante no site do fabricante (INTEL, 2008).

D.3 Testes Utilizando Perfis

Para a realização dos testes utilizando o conceito de perfis foi utilizado apenas o Notebook 02, apresentado anteriormente. Para isto foram identificados e mapeados os AP's existentes no local. A figura D.2 apresenta o posicionamento dos pontos de acesso, bem como os locais onde foram realizadas as medidas de teste.

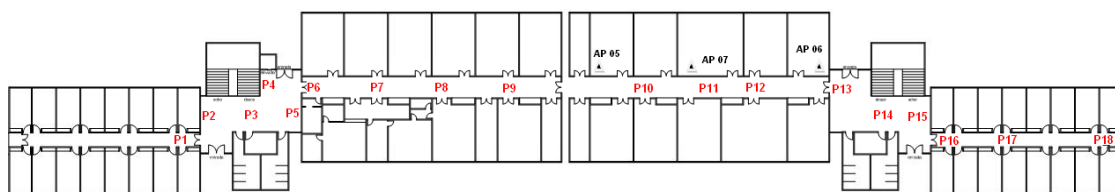


Figura D.2. – Locais das medidas de testes e posicionamento dos AP's.

Os AP's existentes neste andar, denominados AP 05, AP 06 e AP 07, possuem as seguintes configurações:

AP 05:

- Modelo: D-Link DI 624M
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 6

AP 06:

- Modelo: DLink DI 524
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 11

AP 07:

- Modelo: DLink DI 524
- Frequência: 2.4 GHz
- Tecnologia: 802.11g
- Canal Configurado: 6

Referências Bibliográficas

AHMAD, U., GAVRILOV, A., LEE, S., AND LEE, Y. **Modular Multilayer Perceptron for WLAN Based Localization.** In Proceedings of IJCNN. 3465-3471, 2006

ALI, A. A.; OMAR, A. S.: **Time of Arrival Estimation for WLAN Indoor Positioning Systems using Matrix Pencil Super Resolution Algorithm.** Proceedings of the 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication, 2005.

ALVES, S.; **A Matemática do GPS.** Revista do Professor de Matemática, n. 59, p. 17-26, 2006.

BAHL, P., PADMANABHAN, V. N.: **RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System.** IEEE INFOCOM, 2:775–784, Mar 2000.

CISCO: **Cisco Unified Wireless Location-Based Services**, 2007. Disponível em: < <http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/emob30dg/Locatn.html>>, Acesso em 19 set 2011.

CHINTALAPUDI, K., IYER, A.P., PADMANABHAN, V.N. **Indoor localization without the pain.** In Proceedings of MOBICOM, 173-184, 2010.

FANG, B.: **Trilateration and extension to global positioning system navigation.** Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 9:715–717. 1986.

FANG, S.-H., LIN, T.-N., LEE, K.-C.: **A Novel Algorithm for Multipath Fingerprinting in Indoor WLAN Environments**. IEEE Transactions on Wireless Communications 7, 3579-3588, 2008.

FARIAS, P., C., B., **Fundamentos de RF**, 2006. Disponível em: < <http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless003.asp>>, Acesso em 13 jul 2011.

GUSTAFSSON, F.; GUNNARSSON, F.: **Positioning using time-difference of arrival measurements**. Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, 2003.

HÅKEGÅRD, J. E, MYHRE , B., LEHNE, P. H., ORMHAUG, T., BJUGAN, V., MONDIN, M., ELKOTOB, M., STEUER, F., **Deliverable D8 Scenarios and wireless performance and coverage**. 2005 Disponível em: < http://oban.tubit.tu-berlin.de/D8_Scenarios_and_wireless_performance_and_coverage.pdf>, Acesso: 13 jul 2011.

IBGE. **Dados do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 04/11/2010**. Brasília, 2010. Disponível em: < http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php>. Acesso em 12 jul 2011.

INFOGPS. **CelliD**. Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://infogps.uol.com.br/blog/2010/09/30/cellid/>>. Acesso em 13 jul 2011.

INTEL. **Intel® WiFi Link 5100 Series**. Califórnia, USA, 2008. Disponível em: <<http://www.intel.com/content/dam/doc/product-brief/wifi-link-5100-brief.pdf>>. Acesso em 15 jun 2011.

_____. **Intel® WiFi Link 1000**. Califórnia, USA, 2009. Disponível em: <<http://download.intel.com/support/wireless/wlan/1000/sb/intelwifilink1000productbrief1.pdf>>. Acesso em 15 jun, 2011.

KAEMARUNGSI, K., KRISHNAMURTHY, P.: **Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting**, mobiquitous, pp.14-23, First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04), 2004

KOŁODZIEJ, K. W., HJELM, J.: **Local Positioning Systems: LBS Applications and Services**. Ed. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2006.

LASSABE, F., CANALDA, P., CHATONNAY, P., SPIES, F., BAALA, O.: **A Friis-Based Calibrated Model for WiFi Terminals Positioning**. In Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks (WOWMOM). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 382-387, 2005.

MOURA, Andre Iasi.: **WBLS: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi** / A. I. Moura – São Paulo, 2007.

OLIVER, M. A., WEBSTER, R.: **Kriging: a method of interpolation for geographical information systems**. International Journal of Geographical Information Systems 4, 313-32, 1990.

PERES, A.: **Mecanismo de Autenticação baseado na Localização de Estações sem Fios Padrão IEEE 802.11** / André Peres. – Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2010.

RAPPAPORT, T., S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

ROOS, T., MYLLYMAKI, P., TIRRI, H., MISIKANGAS, P., SIEVANEN, J.: **A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation**. International Journal of Wireless Information Networks, Vol. 9, No. 3, July, 155-164, 2002.

SÁNCHEZ, D., AFONSO, S., MACÍAS, E.M., SUÁREZ, Á. **Devices Location in 802.11 Infrastructure Networks using Triangulation.** In Proceedings of IMECS, 938-942, 2006.

SCHILLER, J.; VOISARD, A.: **Location-Based Service.** Ed. Morgan Kaufmann is an imprint of Elsevier: San Francisco, CA, USA. 2004.

SHAH, N.: **Location Based Services Part I: Technologies in Wireless Networks.** 2010, Disponível em: <<http://technowizz.wordpress.com/2010/01/03/lbs-technologies-part-1/>>, Acesso em 20 de jul 2011.

SMAILAGIC, A., SIEWIOREK, D. P., ANHALT, J., KOGAN, D., WANG, Y.: **Location sensing and privacy in a context-aware computing environment.** IEEE Wireless Communications, 9(5): 10-17, Oct 2002.

TELECO. **Estatísticas de Celular no Mundo.** São José dos Campos, 2008. Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/pais/celular.asp>>. Acesso em 12 jul 2011.

YAMASAKI, R., OGINO, A., TAMAKI, T., UTA, T., MATSUZAWA, N., KALO, T.: **TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN,** in Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '05), vol. 4, pp. 2338-2343, New Orleans, La, USA, March 2005.

YOUSSEF, M. A., AGRAWALA, A., **Small-Scale Compensation for WLAN Location Determination Systems,** in Proc. of the IEEE WCNC 2003. 2003.

YOUSSEF, M. A., AGRAWALA, A., SHANKAR, A. U.: **WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions.** In Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PERCOM '03). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 143, 2003.

YOUSSEF, M. A., AGRAWALA, A.: **On the optimality of WLAN location determination systems**, in: Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, 2004.

YOUSSEF, M., ABDALLAH, M. & ASHOK, A. **Multivariate analysis for probabilistic WLAN location determination systems**, In The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services p. 353-362, 2005.

ZHANG, M., ZHANG, S.: **An Accurate and Fast WLAN User Location Estimation Method Based on Received Signal Strength**. In Proceedings of the 7th international conference on Computational Science, Part III: ICCS 2007 (ICCS '07), Yong Shi, Geert Dick Albada, Jack Dongarra, and Peter M. Slood (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 58-65, 2007.

ZURSTRASSEN, L.: **Location based services**. 2003, Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/zurstrassen/lbs_02.html>. Acesso em 13 jul de 2011