



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Centro de Informática

Pós-Graduação em Ciência da Computação

**UM SISTEMA DE AUXÍLIO À  
LOCALIZAÇÃO DE ETIQUETAS RFID EM  
AMBIENTES INTERNOS**

Rafael de Amorim Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife

22 de Setembro de 2008

Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Centro de Informática

Rafael de Amorim Silva

**UM SISTEMA DE AUXÍLIO À LOCALIZAÇÃO DE ETIQUETAS  
RFID EM AMBIENTES INTERNOS**

*Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em  
Ciência da Computação do Centro de Informática da Uni-  
versidade Federal de Pernambuco como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Com-  
putação.*

Orientador: *Prof. Docteur Paulo André da Silva Gonçalves*

Recife

22 de Setembro de 2008

*Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida: Meu pai Adjardo, minha mãe Fátima e minhas adoráveis irmãs Ana Cláudia e Ana Paula, os quais sempre me deram suporte nos momentos mais difíceis. Agradeço a Deus por ter esta maravilhosa família em minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família que sempre me encorajou a enfrentar novos desafios e a consolidar meus ideais. Ao meu pai, pela paciência e compreensão, oferecendo-me condições essenciais para alcançar meus objetivos. À minha mãe, pelo apoio e amor incondicional que me foram dados nos momentos mais difíceis. À minha irmã Ana Claudia, cuja determinação e diferentes pontos de vista me ajudaram a tomar importantes decisões. À minha irmã Ana Paula, com sua enorme compreensão, acalmando-me nos momentos cruciais da minha vida. Um ombro amigo que nunca esquecerei. Aos meus amigos, onde eu tenho grande alegria e apoio quando necessário. Ao meu orientador, professor Docteur Paulo Gonçalves, pela paciência e rigidez nas correções.

*Our greatest weakness lies in giving up. The most certain way to  
succeed is always to try just one more time.*

—THOMAS EDISON

## RESUMO

Esta dissertação propõe um sistema de auxílio à localização de etiquetas RFID em ambientes internos ou *indoor*. O sistema é construído sobre o sistema de localização LANDMARC e fornece duas estimativas da área delimitada na qual se encontra a etiqueta a ser localizada. A primeira estimativa é obtida realizando-se um mapeamento com base em informações providas pelo LANDMARC. A segunda estimativa é obtida realizando-se um mapeamento com base em informações providas por um novo algoritmo também proposto nesta dissertação. A segunda estimativa é utilizada sempre que a informação provida com base na execução do LANDMARC mostra-se errônea. O LANDMARC e o sistema proposto foram avaliados através de simulações com o auxílio do Matlab. As avaliações realizadas consideraram a inconstância típica da força de sinais de rádio-frequência com e sem obstáculos. Os resultados de simulação demonstram que o sistema proposto melhora a eficiência de localização em até 46% com relação à utilização do sistema LANDMARC puro.

### **Palavras-chave:**

LANDMARC, Sistema de Localização, RFID, Desempenho.

## **ABSTRACT**

This dissertation proposes a location assistance system of RFID tags in indoor environments. The system is built over the LANDMARC location system and provides two estimatives from bounded area in which is the tracking tag. The first estimative is obtained by performing a mapping taking into account information provided by the LANDMARC. The second estimative is obtained by performing a mapping taking into account information provided by a new algorithm also proposed in this dissertation. The second estimative is used always the information provided with basis on execution of LANDMARC is erroneous. The LANDMARC and the proposed system were evaluated through simulations with the MATLAB support. The evaluation was consider the typical inconstancy of radio-frequency signal strengths with and without obstacles. The results demonstrate that the proposed system improves the location efficiency up 46% in relation to the LANDMARC system.

### **Keywords:**

LANDMARC, Location System, RFID, Performance.

# SUMÁRIO

<b>Capítulo 1—Introdução</b>	1
1.1 Resumo dos Objetivos . . . . .	4
1.2 Organização . . . . .	5
<b>Capítulo 2—Taxonomia de Sistemas de Localização</b>	6
2.1 Introdução . . . . .	6
2.2 Características . . . . .	6
2.2.1 Ambientes de Operação . . . . .	7
2.2.2 Modos de Operação . . . . .	8
2.2.3 Entidades da Localização . . . . .	9
2.2.4 Sistema de Coordenadas . . . . .	10
2.2.5 Informações de Localização . . . . .	11
2.2.6 Granularidade . . . . .	12
2.2.7 Linha de Visada . . . . .	13
2.3 Formas de Sinalização . . . . .	13
2.3.1 Imagem . . . . .	14
2.3.2 Contato Físico . . . . .	14
2.3.3 Ondas . . . . .	15
2.4 Técnicas de Localização . . . . .	16
2.4.1 Triangulação . . . . .	16
2.4.2 Proximidade . . . . .	19
2.4.3 Análise de Cena . . . . .	20

2.5	Considerações . . . . .	21
<b>Capítulo 3—RFID - Identificação por Rádio-Freqüência</b>		<b>22</b>
3.1	Introdução . . . . .	22
3.2	Componentes de um sistema RFID . . . . .	23
3.2.1	Leitores . . . . .	23
3.2.2	Etiquetas . . . . .	25
3.3	Processo de Comunicação . . . . .	27
3.3.1	Acoplamento Físico . . . . .	27
3.3.2	Protocolos de Anti-colisão . . . . .	28
3.4	Sistema de Software . . . . .	29
3.4.1	Middleware . . . . .	29
3.4.2	Padrões . . . . .	30
3.5	Considerações . . . . .	31
<b>Capítulo 4—Sistemas de Localização Indoor</b>		<b>33</b>
4.1	Introdução . . . . .	33
4.2	Sistemas Baseados em Contato Físico . . . . .	34
4.2.1	Smart Floor . . . . .	34
4.3	Sistemas Baseados em Análise de Imagens . . . . .	35
4.3.1	Easy Living . . . . .	35
4.4	Sistemas baseados em ondas . . . . .	35
4.4.1	Infra-Vermelho . . . . .	36
4.4.1.1	Active Badge . . . . .	36
4.4.2	Ultra-Som . . . . .	36
4.4.2.1	Active Bat . . . . .	37
4.4.2.2	Cricket . . . . .	37
4.4.3	Rádio-Freqüência . . . . .	38
4.4.3.1	RADAR . . . . .	38

4.4.3.2	Probabilistic WLAN location . . . . .	39
4.4.3.3	Horus . . . . .	40
4.4.3.4	LEASE . . . . .	41
4.4.3.5	LANDMARC . . . . .	42
4.5	Considerações . . . . .	43
<b>Capítulo 5—Sistema de Auxílio Proposto</b>		<b>46</b>
5.1	Propagação de ondas em Ambientes Indoor . . . . .	46
5.1.1	Fenômenos Físicos . . . . .	47
5.1.2	Modelos de Perda por Atenuação . . . . .	48
5.2	LANDMARC . . . . .	49
5.2.1	Considerações sobre o LANDMARC . . . . .	52
5.3	Sistema de Auxílio à Localização . . . . .	53
5.3.1	Descrição do Algoritmo Proposto . . . . .	53
5.3.1.1	Cenários . . . . .	54
5.3.1.2	Cenário 1 - Ambiente sem obstáculos . . . . .	54
5.3.1.3	Cenário 2 - Ambiente com obstáculos . . . . .	54
5.3.1.4	Cenário 3 - Queda da força do sinal esperado . . . . .	55
5.4	Resumo do Capítulo . . . . .	56
<b>Capítulo 6—Simulação e Resultados</b>		<b>57</b>
6.1	Modelo Base para propagação de sinais . . . . .	57
6.2	Parâmetros da Simulação . . . . .	58
6.3	Metodologia . . . . .	60
6.4	Avaliação dos Cenários . . . . .	60
6.4.1	Resultados do Cenário 1 . . . . .	61
6.4.2	Resultados do Cenário 2 . . . . .	63
6.4.3	Resultados do Cenário 3 . . . . .	65
6.5	Considerações . . . . .	66

<b>Capítulo 7—Considerações finais</b>	68
7.1 Contribuições . . . . .	69
7.2 Limitações . . . . .	69
7.3 Trabalhos Futuros . . . . .	70
<b>Referências Bibliográficas</b>	71
<b>Apêndice A—Simulação no MatLab</b>	79
A.1 MatLab . . . . .	79
A.2 Simulação MatLab . . . . .	80
A.2.1 Parâmetros . . . . .	81
A.2.2 Matrizes . . . . .	81
A.2.3 Modelos de Propagação . . . . .	81
A.2.4 Algoritmo LANDMARC . . . . .	82
A.2.5 Algoritmo LANDMARC+ . . . . .	82
A.2.6 Arquivos de Saída . . . . .	83
A.3 Código Fonte . . . . .	83
A.3.1 Parâmetros da Simulação . . . . .	83
A.3.2 Simulação . . . . .	85
A.3.3 Cálculo do RSSI . . . . .	86
A.3.4 Cálculo da Distância Euclidiana . . . . .	86
A.3.5 Cálculo dos pesos . . . . .	87
A.3.6 Identificação do Ambiente . . . . .	87
A.3.7 Estatística das Simulações . . . . .	88
A.3.8 Arquivo . . . . .	90
A.3.9 Funções utilizadas pela Simulação . . . . .	90

## LISTA DE FIGURAS

1.1	Erro de localização . . . . .	3
2.1	Taxonomia de sistemas de localização . . . . .	7
2.2	Entidades responsáveis pelos cálculos da localização . . . . .	10
2.3	Sistema de coordenadas . . . . .	11
2.4	Informação de Localização em ambientes <i>indoor</i> : espaço, posição e orientação	12
2.5	Localização através de processamento de imagens . . . . .	14
2.6	Localização através de contato físico . . . . .	15
2.7	Representação gráfica da técnica do ângulo de chegada . . . . .	17
2.8	Representação gráfica da técnica ToA . . . . .	18
2.9	Representação gráfica da técnica TDoA . . . . .	19
2.10	Representação gráfica do mapa de forças dos sinais em um ambiente <i>indoor</i>	20
3.1	Ilustração representando o momento em que o leitor interroga as etiquetas em seu alcance . . . . .	23
3.2	Componentes de um sistema RFID . . . . .	24
5.1	Representação Gráfica de um Cenário Indoor sem obstáculos . . . . .	54
5.2	Representação Gráfica de um Cenário Indoor com obstáculos . . . . .	55
6.1	Resultados da simulação do Cenário 1 . . . . .	62
6.2	Resultados da simulação do Cenário 2 . . . . .	64
6.3	Resultados da Simulação do Cenário 3 . . . . .	66

## LISTA DE TABELAS

3.1	Classes de um sistema RFID . . . . .	31
5.1	Variáveis definidas pelo LANDMARC . . . . .	50
6.1	Variáveis definidas pela simulação . . . . .	59
A.1	Parâmetros implementados no MATLAB . . . . .	81
A.2	Matrizes implementadas no MATLAB . . . . .	82

# INTRODUÇÃO

A localização de objetos ou pessoas é um tema de pesquisa atual relevante tanto para a comunidade industrial quanto acadêmica. Diversas aplicações reais necessitam utilizar ou se beneficiam de informações de localização de objetos ou pessoas. Alguns exemplos incluem segurança veicular, controle de estoque de mercadorias, navegação aérea e marítima, aplicações sensíveis ao contexto, entre outras. As informações de localização são obtidas através de sistemas de localização. Um sistema de localização pode ser definido como sendo um conjunto de dispositivos, técnicas, algoritmos e aplicações que estimam automaticamente as coordenadas relativas ou absolutas de objetos ou pessoas em ambientes externos (*outdoor*) ou internos (*indoor*).

Os primeiros sistemas de localização foram projetados para dar suporte às aplicações militares e comerciais em ambientes *outdoor*. Em geral, esses sistemas utilizam uma infra-estrutura formada por estações terrestres e uma constelação de satélites, permitindo ao usuário obter sua posição geográfica. Exemplos incluem o sistema americano GPS (*Global Positioning System*) [37], GALILEO [3] e o sistema russo GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*) [33]. Atualmente, a infra-estrutura de redes celulares também vem sendo utilizada para prover serviços de rastreamento e localização em ambientes *outdoor* através de técnicas como o Cell ID, o E-OTD (*Enhanced-Oriented Time Difference*), o O-TDOA (*Oriented Time Difference of Arrival*) e o A-GPS (*Assisted GPS*) [65].

Os primeiros sistemas de localização para ambientes *indoor* foram projetados para prover estimativas de localização com base na utilização de sinais infra-vermelhos (direcionais) ou na pressão em pisos especiais dotados de sensores. No primeiro caso, existe uma infra-estrutura de receptores no ambiente de interesse. Estes receptores captam os

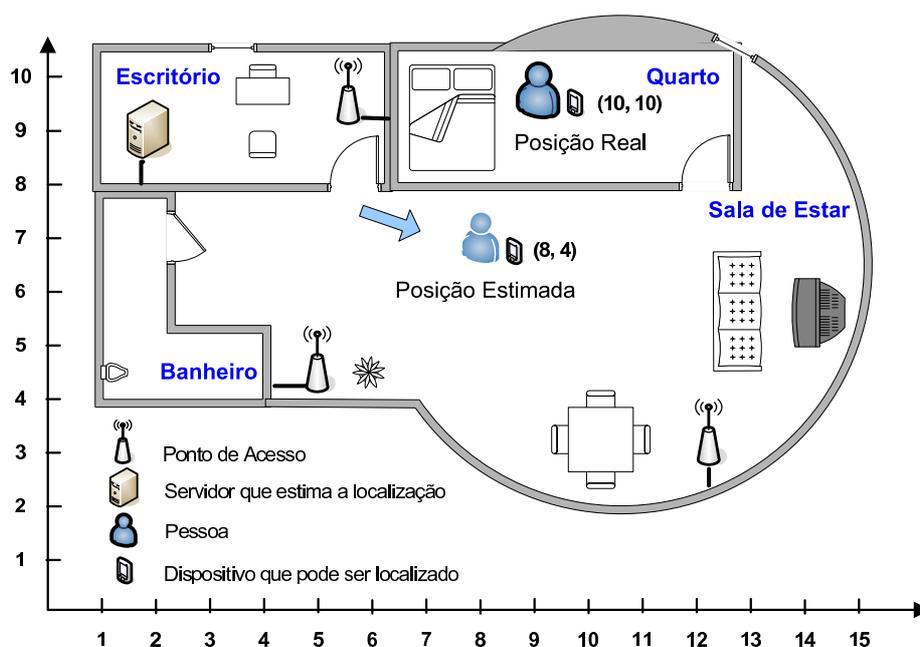
sinais de identificação emitidos por um transmissor acoplado à pessoa ou objeto a ser localizado. Com base na posição dos receptores que captam estes sinais, é possível obter uma estimativa de localização. No caso dos sistemas que utilizam sensores de pressão, a informação de localização também é obtida com base na posição do sensor que é acionado pela pressão do objeto ou da pessoa.

Nos últimos anos, a proliferação de dispositivos móveis e de redes sem fio de curto alcance tem estimulado o desenvolvimento de sistemas de localização para ambientes *indoor* que se baseiam em sinais de rádio-frequência (RF) captados para se produzir estimativas de localização. Alguns exemplos de tecnologias de comunicação sem fio que podem ser empregadas por tais sistemas incluem: RFID (*Radio-Frequency IDentification*), Wi-Fi (*Wireless Fidelity - IEEE 802.11*), Bluetooth (*IEEE 802.15.1*), UWB (*Ultra-Wide Band - IEEE 802.15.3*) e Zigbee (*IEEE 802.15.4*). Das tecnologias citadas, a RFID é considerada a mais barata e promissora para a identificação de objetos e pessoas. Uma etiqueta RFID usa sinais de rádio-frequência (RF) para transmitir seu código de identificação a um equipamento denominado leitor. As etiquetas podem ser passivas ou ativas. As passivas utilizam a energia da onda eletromagnética emitida pelo leitor para o seu funcionamento e as ativas se energizam através de pilhas, baterias e possivelmente através da rede elétrica. A transmissão do código de etiquetas RFID é coordenada pelo leitor.

Dentre os principais sistemas de localização *indoor* existentes e baseados no uso de RFID se encontra o LANDMARC [40]. Este sistema utiliza uma infra-estrutura composta por leitores RFID, etiquetas RFID ativas e um servidor que se comunica com os leitores e realiza cálculos. Utiliza-se etiquetas de referência cujas coordenadas relativas são previamente conhecidas e etiquetas em objetos ou pessoas cujas coordenadas precisam ser estimadas. A estimativa de localização é feita com base na força dos sinais RF captados pelos leitores e que são provenientes das etiquetas. Contudo, o erro associado à estimativa de localização depende de diversos fatores como a estabilidade do sinal captado. Quanto menos estável for a força do sinal captado maior será o erro da estimativa produzida pelo sistema. Na prática, não se pode contar com a estabilidade da força de sinais RF pois eles podem sofrer reflexão, absorção, espalhamento e difração devido a fatores como a

presença de obstáculos (*e.g.* divisórias, paredes), o fluxo de pessoas, a temperatura do ar e a geometria do ambiente. As interferências eletromagnéticas também contribuem para a variabilidade da força de um sinal RF recebido por um receptor.

A variabilidade da força de sinais RF pode fazer com que uma pessoa ou objeto seja localizado distante de sua posição real. Em aplicações em que o usuário deseja saber apenas se o objeto ou a pessoa está dentro de uma área delimitada (*e.g.* sala de estar, quarto, banheiro, setor 001, setor 002, etc), erros deste tipo podem levar a uma identificação incorreta da área delimitada em que o objeto ou a pessoa se encontra. A Figura 1 ilustra este problema. Embora a pessoa a ser localizada esteja no quarto, o sistema estima sua localização na sala de estar.



**Figura 1.1** Erro de localização

O estudo de sistemas de localização baseados em RFID que lidam com o problema descrito carece de pesquisas. Assim sendo, esta dissertação propõe um novo sistema de auxílio à localização de etiquetas RFID para ambientes *indoor* que visa aumentar a probabilidade de identificar a área correta em que se encontra a pessoa ou o objeto. O sistema é construído sobre o sistema de localização LANDMARC e fornece duas esti-

mativas da área delimitada na qual se encontra a etiqueta a ser localizada. A primeira estimativa é obtida realizando-se um mapeamento com base em informações providas pelo LANDMARC. A segunda estimativa é obtida realizando-se um mapeamento com base em informações providas por um novo algoritmo também proposto nesta dissertação. Este algoritmo faz uma comparação entre as médias dos valores das distâncias Euclidianas entre as forças dos sinais RF das etiquetas de referência e da etiqueta a ser localizada obtidas em cada área delimitada pelo sistema proposto. A segunda estimativa é utilizada sempre que a informação provida com base na execução do LANDMARC mostra-se errônea. Ou seja, o usuário pede esta segunda estimativa quando percebe que a primeira não identificou corretamente a área ou cômodo em que o objeto procurado se encontra. O LANDMARC e o sistema proposto foram avaliados através de simulações com o auxílio do Matlab. As avaliações realizadas consideraram a inconstância típica da força de sinais de rádio-freqüência em ambientes *indoor* com e sem obstáculos. A métrica utilizada por esta dissertação é a eficiência do sistema ou de localização. Esta métrica representa a probabilidade de localizar a verdadeira área em que uma determinada etiqueta se encontra. Os resultados de simulação demonstram que o sistema proposto melhora a eficiência de localização em até 46% com relação à utilização do sistema LANDMARC puro.

## 1.1 RESUMO DOS OBJETIVOS

Os principais objetivos desta dissertação são apresentados a seguir:

- Propor uma taxonomia para o estudo de sistemas de localização;
- Propor um sistema que aumente a probabilidade de identificar corretamente a área em que um objeto se encontra;
- Propor um algoritmo que aumente a eficiência de um sistema de localização considerando a inconstância típica de sinais RF em ambientes *indoor*.
- Avaliar pontos fortes e pontos fracos do sistema proposto em cenários *indoor*.

## **1.2 ORGANIZAÇÃO**

O restante desta dissertação está organizado como segue: o Capítulo 2 descreve uma taxonomia para sistemas de localização. O Capítulo 3 apresenta conceitos básicos da tecnologia RFID. O estado da arte de sistemas de localização *indoor* é apresentado no Capítulo 4. O sistema LANDMARC e o sistema proposto são apresentados no Capítulo 5. O Capítulo 6 apresenta avaliações de desempenho de ambos os sistemas. As conclusões gerais desta dissertação são apresentadas no Capítulo 7. Por fim, o detalhamento do processo de simulação é apresentado no Apêndice A.

## CAPÍTULO 2

# TAXONOMIA DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Este capítulo apresenta os conceitos básicos de sistemas de localização, propondo uma taxonomia para o estudo destes sistemas. De forma mais detalhada, a primeira seção apresenta esta taxonomia. A Seção 2.2 apresenta as características encontradas em sistemas de localização: ambiente e modo de operação, entidade responsável pelos cálculos da estimativa de localização, sistema de coordenadas empregado, tipos de informação de localização, granularidade e linha de visada entre transmissores e receptores. A Seção 2.3 apresenta as formas de sinalização empregadas para se produzir uma estimativa da localização de um objeto<sup>1</sup>. A Seção 2.4 apresenta as técnicas utilizadas para o cálculo da estimativa da localização. Na Seção 2.5 são apresentados comentários acerca do conteúdo apresentado neste capítulo.

## 2.1 INTRODUÇÃO

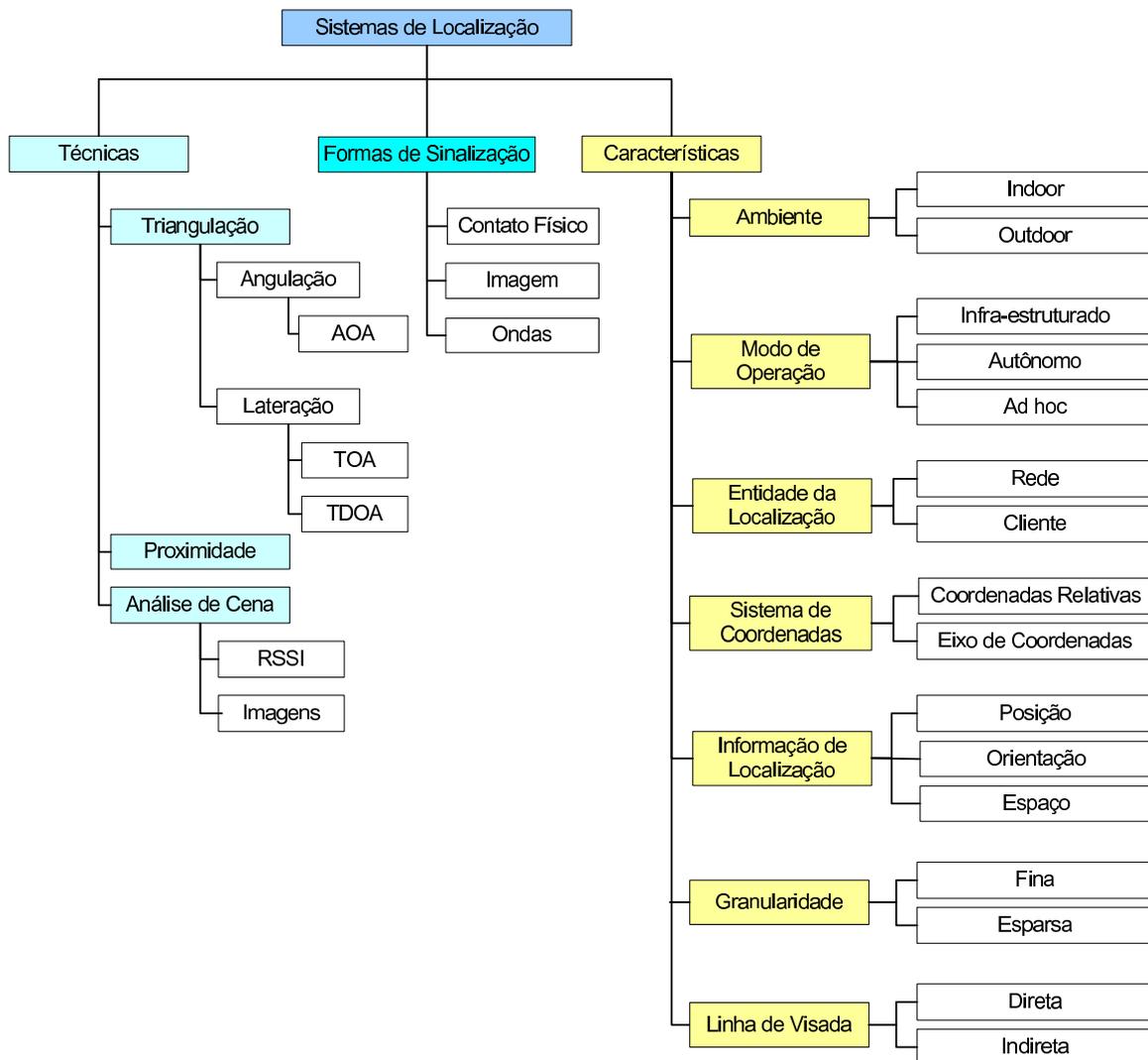
A Figura 2.1 apresenta uma proposta de taxonomia para o estudo de sistemas de localização. Esta proposta foi desenvolvida com base no levantamento do estado da arte e é mais completa que a apresentada em [44]. A taxonomia proposta é dividida em três partes: características do sistema, formas de sinalização e técnicas empregadas para o cálculo de estimativas de localização. Cada parte é detalhada a seguir.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS

As principais características dos sistemas de localização são: o ambiente de operação, o modo de operação do sistema, a entidade responsável pela realização dos cálculos de

---

<sup>1</sup>Ao longo desta dissertação, o termo objeto será utilizado para se referir adicionalmente à pessoas.



**Figura 2.1** Taxonomia de sistemas de localização

estimativas de localização, o sistema de coordenadas adotado, a granularidade das informações providas e o tipo de informação de localização fornecida.

### 2.2.1 Ambientes de Operação

Um sistema de localização pode ser projetado para operar em dois tipos de ambientes distintos: *outdoor* e *indoor*. O GPS, GALILEO e o GLONASS são exemplos de sistemas de localização *outdoor*. A infra-estrutura destes sistemas é composta por estações terrestres e uma constelação de satélites, permitindo a um usuário obter sua posição geográfica.

Geralmente, estes sistemas não possuem restrições de energia e o espaço físico de atuação é extenso. A infra-estrutura de redes celulares também pode ser utilizada para prover serviços de localização e rastreamento em ambientes *outdoor*. Neste caso, as restrições de espaço físico de atuação estão diretamente ligadas a cobertura da rede celular. O estudo de sistemas projetados para ambientes *outdoor* está fora do escopo deste trabalho. Contudo, um estudo abrangente de tais sistemas pode ser encontrado em [44], [3] e [65].

Os sistemas de localização *indoor* atuam em uma área física significativamente menor do que a dos ambientes *outdoor*. Além disso, tais sistemas operam em ambientes com vários obstáculos, o que impedem a propagação de RF, requerendo maiores acurácias do que em ambientes *outdoor*. Exemplos de ambientes *indoor* incluem residências, prédios, galpões e *shoppings*.

### 2.2.2 Modos de Operação

Os sistemas de localização podem operar em três modos distintos: infra-estruturado, *ad hoc* e autônomo [47]. Estes três modos são descritos a seguir.

**Modo infra-estruturado** - neste modo, a estimativa de localização é feita com o auxílio de uma infra-estrutura ou de um controle central. Em ambos os casos, pontos de referência (*landmarks*) espalhados pelo ambiente são utilizados para auxiliar o processo de localização da pessoa ou objeto. Estes pontos podem ser fixos ou móveis. Exemplos de sistemas que operam no modo infra-estruturado incluem o GPS e as redes celulares.

**Modo *ad hoc*** - este é um modo de operação no qual a localização de pessoas ou objetos é realizada sem a utilização de uma infra-estrutura ou de um controle central. Este modo de operação se baseia em idéias originárias das redes *ad hoc* [58]. Em um sistema de localização que opera em modo *ad hoc* puro, todas as entidades são objetos móveis com iguais capacidades e sensores embarcados [44]. Os objetos próximos cooperam entre si compartilhando informações captadas pelos seus sensores para se produzir estimativas de localização (*e.g.* distância entre eles) e reduzir os erros de estimativa. Objetos no *cluster*

são localizados de forma relativa em relação aos outros ou de forma absoluta quando existem objetos dentro do *cluster* com localização conhecida. O modo *ad hoc* é geralmente empregado por Redes de Sensores [58].

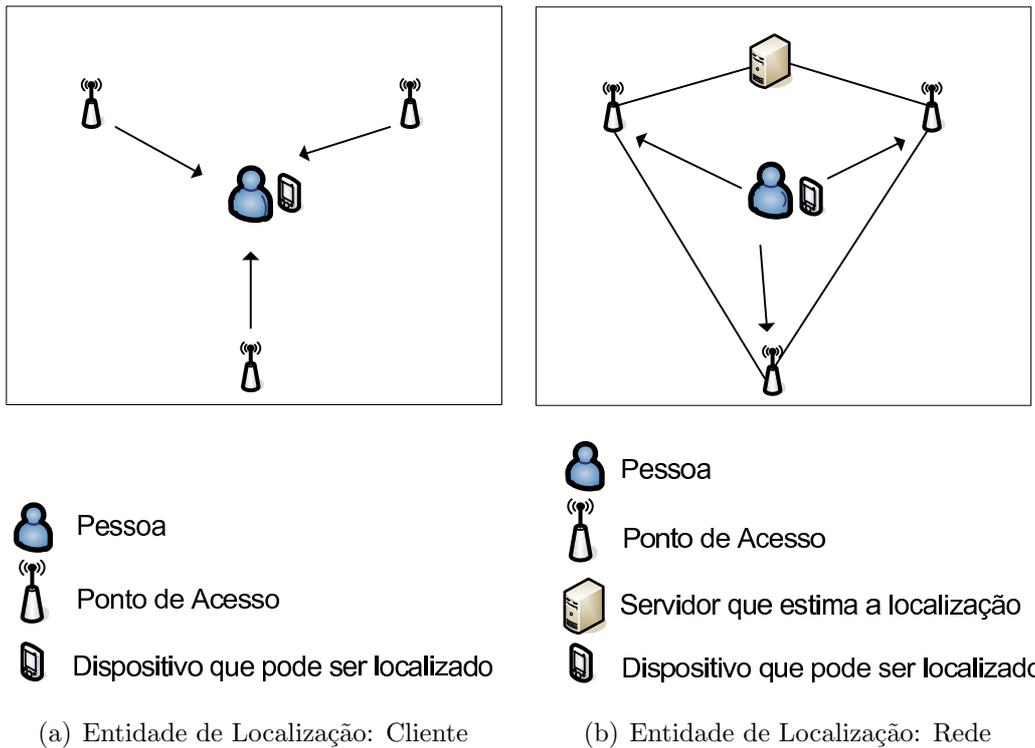
**Modo autônomo** - neste caso, um objeto móvel se auto-localiza fazendo estimativas em relação a uma posição sua anteriormente conhecida e de acordo com a distância que percorreu, a direção tomada e sua velocidade. O método utilizado para se obter este tipo de estimativa se chama *dead reckoning* [36]. O modo autônomo é utilizado principalmente pelos sistemas de navegação de robôs em ambientes nos quais não é possível ou é indesejável a instalação de uma infra-estrutura de auxílio à localização como em explorações planetária, ações militares e ambientes de difícil acesso.

### 2.2.3 Entidades da Localização

A entidade de localização se refere à entidade encarregada do cálculo da estimativa de localização, podendo ser o próprio objeto ou uma ou mais entidades que compõem a infra-estrutura do sistema de localização [44]. As Figuras 2.2(a) 2.2(b) ilustram as entidades que calculam a localização em um sistema infra-estruturado.

Na Figura 2.2(a), o cliente (*handset*) estima a sua posição capturando os sinais emitidos por pontos de referência. Esses pontos enviam periodicamente informações para o cliente tais como pacotes contendo suas respectivas posições. O cliente escolhe um determinado parâmetro (*e.g.* força do sinal, tempo de chegada do sinal, ângulo de chegada do sinal) e estima a sua posição. Este modo é adequado quando a privacidade do usuário precisa ser respeitada dado que a rede não possui conhecimento sobre a posição do mesmo.

Na Figura 2.2(b), um servidor da infra-estrutura de rede é responsável por determinar a localização do cliente. O cliente envia os sinais em *broadcast*. Estes sinais são capturados pela infra-estrutura ligada ao servidor que estima a localização com base em parâmetros de medição escolhidos. Este modo é inadequado quando a privacidade do usuário é um requisito importante.

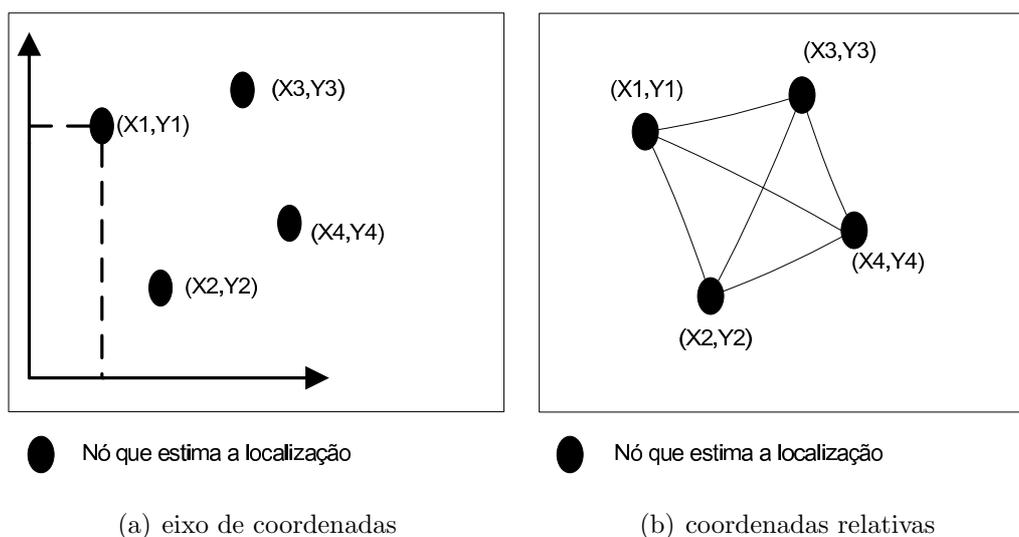


**Figura 2.2** Entidades responsáveis pelos cálculos da localização

#### 2.2.4 Sistema de Coordenadas

A definição de um sistema de coordenadas é essencial para o processo de localização. O sistema de coordenadas pode ser estabelecido através de duas abordagens: realizando-se medições de distância ou ângulos em relação a um eixo de coordenadas ou realizando-se medições de coordenadas relativas entre nós [47].

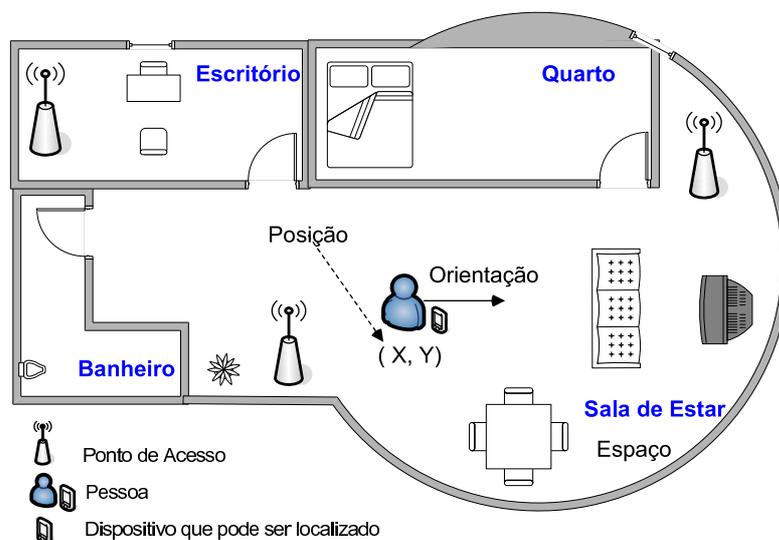
A Figura 2.3(a) ilustra a primeira abordagem, sendo sua utilização comum em sistemas de localização que empregam o modo infra-estruturado. Em um ambiente *indoor*, por exemplo, duas paredes ortogonais em uma sala podem servir como eixo de coordenadas. A Figura 2.3(b) ilustra a segunda abordagem que é utilizada comumente em redes de sensores.



**Figura 2.3** Sistema de coordenadas

### 2.2.5 Informações de Localização

Os sistemas de localização podem prover três tipos de informação de localização: espaço, posição e orientação [47]. A informação de espaço consiste em uma região com limites definidos ( *e.g.* sala, corredor, cozinha, escritório). A informação de posição fornece as coordenadas (x,y) daquilo que se deseja localizar. A informação de orientação pode ser definida como o ângulo entre uma determinada direção de interesse e a direção do pólo norte geográfico da terra [47]. Também pode ser definida como o deslocamento entre a direção de interesse e um eixo de coordenadas, dentro de algum sistema de coordenadas. Existem dois tipos possíveis de informação de orientação: local e global. Se o sistema de coordenadas é local, a informação de orientação torna-se local. Por exemplo, uma aplicação que precisa localizar um objeto ou pessoa em uma residência fornece informação de orientação local. Já uma aplicação que mostra um mapa que se ajusta de acordo com a direção que um *handset* está apontando pode precisar de informação de orientação global. A Figura 2.4 ilustra estes tipos de informação de localização.



**Figura 2.4** Informação de Localização em ambientes *indoor*: espaço, posição e orientação

### 2.2.6 Granularidade

As principais métricas de avaliação de desempenho de sistemas de localização são a acurácia e a precisão. A acurácia mostra o quão próximo uma posição estimada está da posição real de um objeto. A precisão é a probabilidade de se alcançar uma determinada acurácia. Por exemplo, um receptor GPS pode estimar a sua posição com um erro em torno de 10 metros em 95% das medições [1]. Alguns receptores com melhor capacidade de *hardware* podem alcançar uma acurácia de 1 à 3 metros em 99% das medições. Em ambientes *indoor*, por exemplo, experimentos realizados com o sistema de localização LANDMARC [40] constatam uma acurácia de 1 metro com precisão de 50%. A distância máxima observada entre a posição real e a estimada de um objeto neste sistema é de 2 metros.

Define-se granularidade como sendo o nível de qualidade da acurácia de um sistema de localização. Aplicações que exigem informações com granularidade fina são aquelas que precisam ter acurácia elevada. Um exemplo seria saber em que posição dentro de uma sala se encontra determinado objeto. Diversos tipos de aplicações podem exigir acurácias maiores. Por exemplo, em sistemas sensíveis ao contexto, a localização é fundamental

para inferir informações sobre o que o usuário está fazendo. Pequenas acurácias levam tais sistemas a inferir incorretamente sobre o usuário, de forma a dificultar a correta ação que deverá ser aplicada pelo sistema. Outro exemplo seria a localização de objetos em um ambiente *indoor*. Pequenas acurácias dos sistemas de localização podem provocar a identificação incorreta do cômodo ou área em que o objeto se encontra. Um terceiro exemplo seria em grandes armazéns, onde existe a necessidade de localizar vários objetos no mesmo espaço ou área. Acurácias pequenas podem tornar a identificação dos objetos confusa e dificultar no processo de inventário do estoque.

Aplicações que requerem informações com granularidade esparsa exigem acurácia menor. Um exemplo seria saber se um determinado celular se encontra nas proximidades de um ponto de referência (*e.g. shopping*). Para ambos os tipos de granularidade, quanto maior a precisão, melhor para a aplicação.

### 2.2.7 Linha de Visada

A linha de visada representa o número de obstáculos existentes entre um transmissor e um receptor. Existem dois tipos de linha de visada: visada direta, quando o número de obstáculos existentes é 0 e visada indireta, quando o número de obstáculos existentes é maior que 0.

## 2.3 FORMAS DE SINALIZAÇÃO

A sinalização representa o tipo de sinal que é utilizado como base para o cálculo das estimativas de localização. Existem três formas básicas de sinalização comumente utilizadas em sistemas de localização [44]: imagem, contato físico e ondas. A seguir, a descrição de cada uma delas é apresentada.

### 2.3.1 Imagem

Um servidor processa imagens capturadas por câmeras que compõem o sistema de localização. Este processamento visa identificar objetos ou pessoas a serem localizados e calcular a posição deles no ambiente. Dentre os principais sistemas de localização que utilizam processamento de imagens se encontra o *Easy Living* [30]. A Figura 2.5 ilustra um sistema de localização baseado em processamento de imagens.

Os sistemas de localização que utilizam processamento de imagens requerem um grande esforço computacional para a obtenção de uma alta acurácia quando a complexidade da cena analisada aumenta com a presença de diversas pessoas ou objetos e com a mobilidade dos mesmos. Uma descrição mais detalhada sobre o uso de processamento de imagens para a localização e o rastreamento de objetos é apresentada em [63].

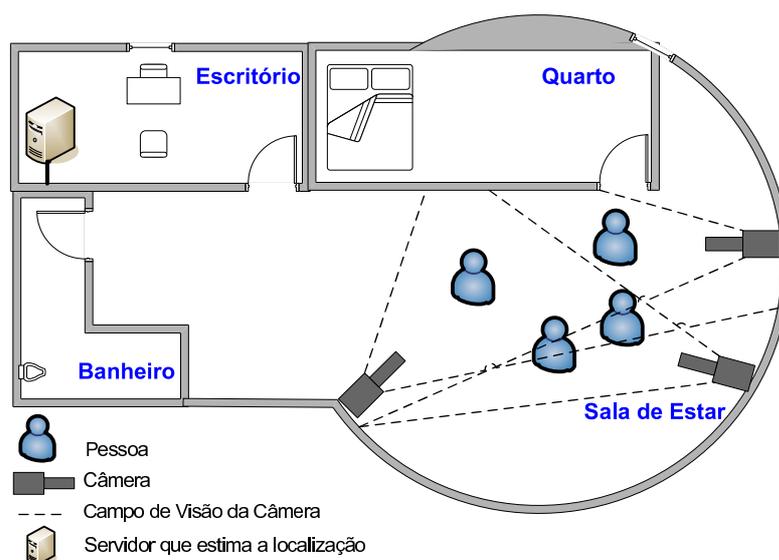
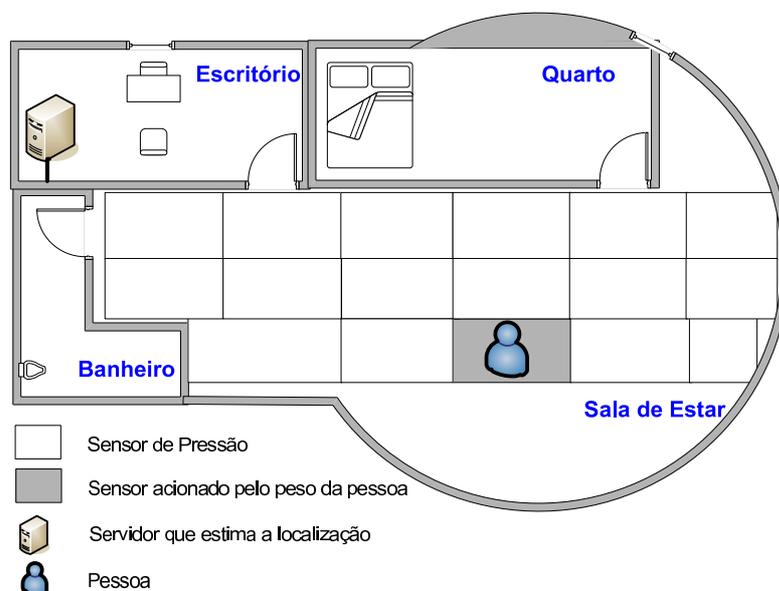


Figura 2.5 Localização através de processamento de imagens

### 2.3.2 Contato Físico

Neste caso, o contato físico de um objeto ou pessoa em um componente da infra-estrutura do sistema de localização é utilizado para se produzir uma estimativa de sua localização.

Por exemplo, no sistema de localização *Smart Floor* [42], sensores de pressão são espalhados pelo chão e a localização é obtida de acordo com a posição do sensor acionado pelo contato. A Figura 2.6 ilustra um sistema de localização baseado em contato físico.



**Figura 2.6** Localização através de contato físico

### 2.3.3 Ondas

Os sistemas de localização podem utilizar basicamente três tipos de ondas para a sinalização: infra-vermelho, ultra-som e rádio-freqüência.

**Infra-vermelho** - A tecnologia infra-vermelha consiste em sinais eletromagnéticos com freqüências entre 300 GHz à 400 THz. Este tipo de onda não consegue ultrapassar paredes ou obstáculos. A propagação de raios infra-vermelhos é rápida, entretanto a largura de banda é limitada pela interferência da luz no ambiente em que é propagada. O infra-vermelho tem um alcance pequeno, em torno de 5 metros. Os transmissores são baratos, compactos e de baixo consumo de energia. Um dos primeiros sistemas de localização que empregam esta tecnologia é o *Active Badge* [61].

**Ultra-som** - A tecnologia ultra-som consiste em sinais sonoros com frequências entre 20 KHz à 500 KHz. O ultra-som não consegue ultrapassar paredes ou obstáculos. Além disso, a temperatura do ambiente influencia na propagação do ultra-som. O ultra-som possui alcance de 3 à 10 metros e permite que sistemas de localização que o empregam alcancem uma acurácia em torno de centímetros. O *Active bat* [62] e o *Cricket* [48] são exemplos de sistemas de localização que utilizam ultra-som para a produção de estimativas de localização.

**Rádio-Frequência ou RF** - As ondas de rádio-frequência consistem em ondas eletromagnéticas com frequências de 9 KHz à 400 GHz [38]. O alcance depende da potência de transmissão do sinal e da atenuação que o mesmo sofre no ambiente. Diferente dos tipos de ondas citados anteriormente, ondas de RF podem atravessar paredes e obstáculos em ambientes *indoor*. Sistemas de localização baseados neste tipo de sinalização realizam normalmente medições da força do sinal RF captado. O RADAR [4], o LANDMARC [40] e o Horus [64] são exemplos de sistemas que utilizam tecnologias baseadas em ondas de rádio-frequência.

## 2.4 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO

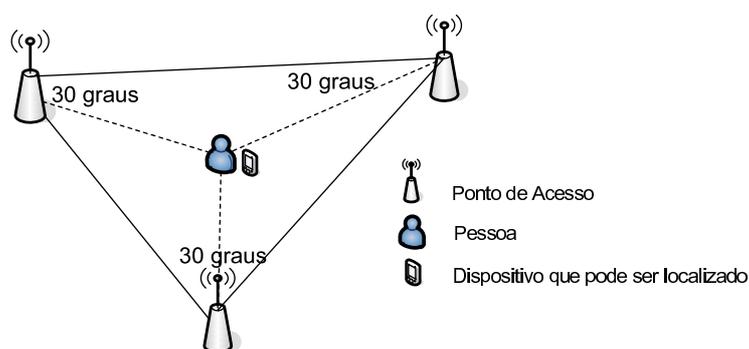
Técnicas são utilizadas para se estimar a localização de pessoas ou objetos em sistemas de localização. Estes sistemas podem empregar três tipos de técnicas: triangulação, proximidade e análise de cenas [44, 24].

### 2.4.1 Triangulação

A triangulação se baseia em propriedades geométricas de triângulos e pode ser subdividida em duas categorias: lateração e angulação. A lateração calcula a posição de um objeto medindo a sua distância em relação a múltiplos pontos de referência. Tempo de chegada (ToA) e diferença do tempo de chegada (TDoA) são exemplos de técnicas de lateração

que estimam a localização de um objeto por medir o tempo de propagação do sinal entre transmissor e receptor. A angulação é similar a lateração exceto pelo fato de que estima-se a localização de um objeto baseado no cálculo da direção da propagação do sinal.

Ângulo de chegada (AoA) é uma técnica baseada em ângulos que estima a localização de um objeto através do cálculo da direção da propagação do sinal. A infra-estrutura consiste em dois ou mais pontos de referência. Cada ponto usa ou uma antena direcional ou um vetor de antenas para calcular ângulos de chegadas de sinais emitidos pelo objeto localizável [39]. Estes pontos de referência têm um eixo principal que é usado como referência para medir os ângulos de chegadas. Além do mais, estes pontos podem ter informação sobre a orientação. Esta informação significa uma orientação absoluta deste eixo e geralmente está direcionada para o norte. Dois tipos de ângulos são calculados: *bearings* e *headings* [41]. *Bearing* mede o ângulo com respeito a outro ponto de referência. *Headings* são ângulos entre a orientação absoluta e a direção da propagação de um vizinho estimado. A direção da propagação do sinal é definida pela descoberta do ângulo entre o eixo principal e a direção do sinal que está sendo emitida pelo transmissor. Conhecendo a distância entre receptores e os ângulos em cada ponto de referência, a posição do objeto é estimada usando funções trigonométricas.



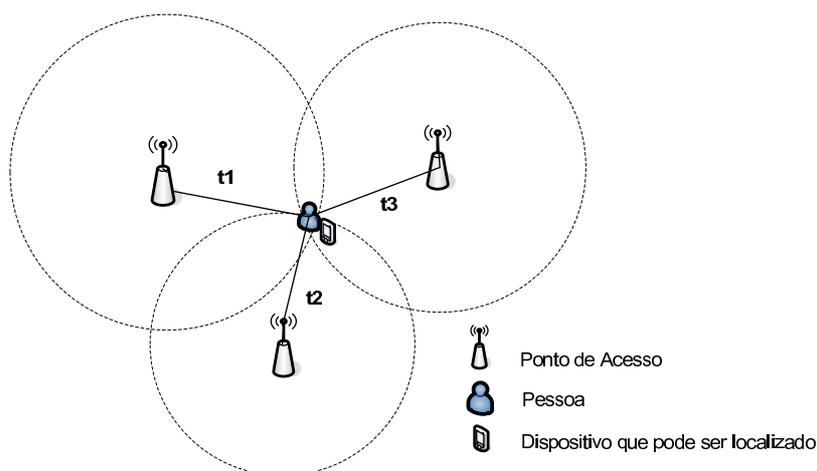
**Figura 2.7** Representação gráfica da técnica do ângulo de chegada

Tempo de chegada (ToA) é uma técnica baseada em tempo que estima a localização de um objeto por medir o tempo de propagação do sinal entre transmissores e receptores. A infra-estrutura consiste em três ou mais pontos de referência. Estes pontos são posicionados em coordenadas não colineares. Desde que as ondas eletromagnéticas se propagam na

velocidade constante da luz, a distância entre um transmissor e um receptor é diretamente proporcional ao tempo de propagação. Então, cada ponto de referência calcula, através da Equação 2.1, o tempo de propagação de um sinal emitido por um objeto localizável. Usa-se esta equação para calcular a distância entre este objeto e determinado ponto de referência. A distância é definida como o raio da esfera centrado em respectivo ponto de referência. Então o ponto é estimado pela intersecção de cada esfera calculada pelos pontos de referência.

$$ToA = d/v \quad , \quad (2.1)$$

onde  $d$  denota a distância entre o objeto localizável e um ponto de referência. Velocidade de propagação do sinal é representada por  $v$ . No caso de transmissão por ondas eletromagnéticas, a velocidade da propagação é definida como  $3 \times 10^8 m/s$ .



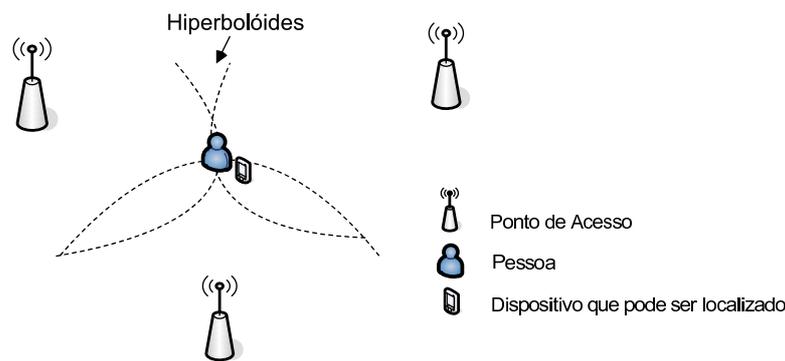
**Figura 2.8** Representação gráfica da técnica ToA

Diferença do tempo de chegada (TDoA) é outra técnica baseada em tempo que estima a localização de um objeto por medir a diferença no tempo em que um sinal chega nos receptores. A infra-estrutura consiste em três ou mais pontos de referência. Quando um sinal é emitido pelo objeto, calcula-se a diferença no tempo de chegada entre dois pontos de referência através da Equação 2.2. Por outro lado, o objeto é responsável em calcular as respectivas diferenças. Cada diferença é denotada por uma hiperbolóide e estima-se a posição do objeto através da intersecção de duas ou mais hiperbolóides.

Outra maneira de aplicar o TDoA é medindo a distância entre dois pontos, usando dois sinais com velocidades distintas.

$$TDoA(i, j) = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2 + (Z_j - z)^2}, \quad (2.2)$$

onde as coordenadas  $(X_i, Y_i, Z_i)$  e  $(X_j, Y_j, Z_j)$  denotam os pontos de referência  $i$  e  $j$ .



**Figura 2.9** Representação gráfica da técnica TDoA

Os sistemas de localização podem usar mais de uma técnica para prover uma melhor acurácia. Sistemas que aplicam mais de uma técnica tais como os híbridos ToA/AoA e TDoA/AoA são exemplos de mistura de técnicas que podem aumentar a acurácia de uma estimativa de localização em diversos cenários. Alguns destes sistemas de localização são explorados em [12, 59, 57, 10].

### 2.4.2 Proximidade

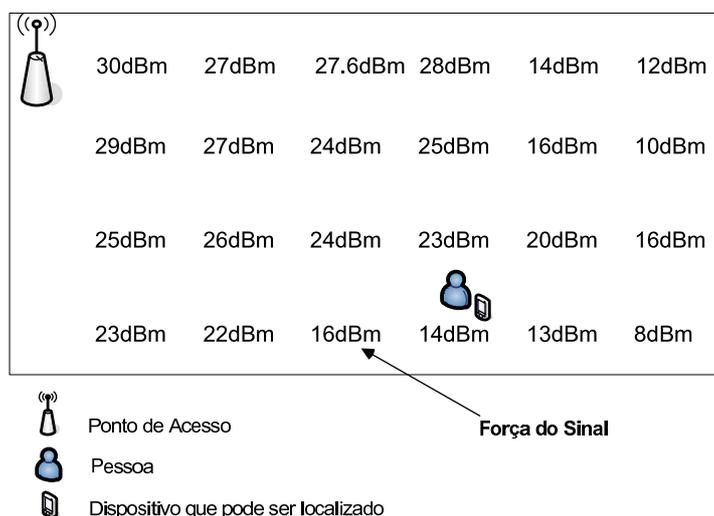
Proximidade é uma técnica que determina o quão próximo o objeto está de uma localização conhecida. Existem três técnicas de proximidade [24]: detecção de contato físico, monitoramento de pontos de acesso por células e sistemas automáticos de identificação. A detecção de contato físico inclui sensores de pressão, sensores de toque, e detectores de campo capacitivo; No monitoramento de pontos de acesso por células, um dispositivo é monitorado quando se encontra no alcance de um ponto de acesso. Em sistemas automáticos de identificação, a localização pode ser inferida quando o dispositivo interroga

uma etiqueta ou monitora uma transação.

### 2.4.3 Análise de Cena

Esta técnica usa características de uma cena observada de um ponto particular para a localização do objeto na cena. A cena pode consistir de imagens visuais, ou outro fenômeno físico como características eletromagnéticas [24]. Em sistemas de localização que utilizam características eletromagnéticas, o processo de estimativa é dividido em duas fases: *offline* e *online*. Na fase *offline* (conhecida como calibramento), constrói-se um mapa dos níveis de energia de rádio de uma determinada área através da captura de padrões (conhecidos como *fingerprints*). Na fase *online*, um dispositivo captura os níveis de energia de uma determinada localização e compara com o mapa criado na fase anterior. O RSSI *fingerprint* é armazenado em um banco de dados na forma de tuplas.

Alguns sistemas de localização que utilizam as medições de RSSI precisam de uma extensivo calibramento para construir um *fingerprint* do sinal. Re-calibramento é também necessário caso existam mudanças contínuas no ambiente de propagação. Uma das soluções é usar os modelos de propagação para prever o *fingerprint* do sinal.



**Figura 2.10** Representação gráfica do mapa de forças dos sinais em um ambiente *indoor*

## 2.5 CONSIDERAÇÕES

Este capítulo apresentou os fundamentos essenciais dos sistemas de localização. Foram vistos técnicas e conceitos utilizados em um sistema de localização. Também foi proposta uma taxonomia para classificar e organizar os principais conceitos envolvidos nestes sistemas.

Uma observação importante é o processo de calibramento dos sistemas de localização que utilizam medições de RSSI. Alguns trabalhos [34, 21, 8, 5] propõem métodos para reduzir o esforço exigido por tal processo. Uma das soluções defendidas por estes trabalhos é distribuir *sniffers* pelo ambiente. *Sniffers* são pequenos dispositivos que monitoram o meio sem fio, capturam RSSI dos clientes e enviam para um motor de localização. Este motor coleta a força dos sinais capturadas por tais *sniffers* e constroem um modelo de força dos sinais para estimar a localização. Então o motor usa um algoritmo de estimativa para associar este modelo com o vetor de força dos sinais provenientes do objeto localizável.

O uso destes sistemas em ambientes *indoor* é uma tarefa desafiadora. A inconstância típica de um sinal eletromagnético nestes ambientes causam atrasos e distorções nos receptores, o que reduz o desempenho de tais sistemas. Para lidar com esta inconstância, trabalhos atuais [4, 29, 40, 49, 64] têm propostos técnicas e algoritmos que reduzam estas inconstâncias, visando alcançar uma maior acurácia e precisão na estimativa da localização.

## CAPÍTULO 3

# RFID - IDENTIFICAÇÃO POR RÁDIO-FREQÜÊNCIA

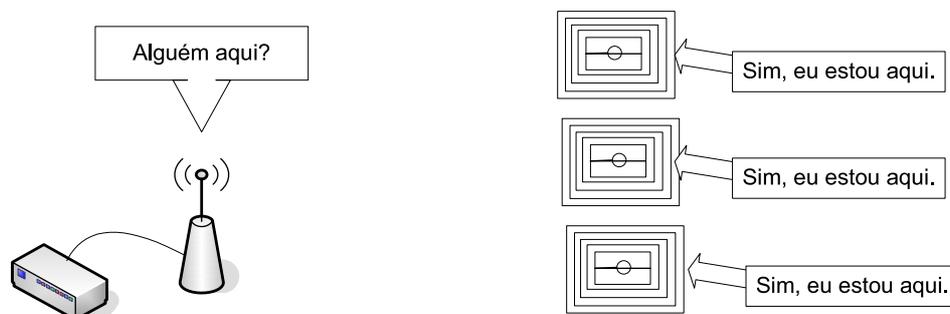
Este capítulo apresenta os conceitos básicos da tecnologia de identificação por rádio-freqüência. De forma mais detalhada, a Seção 3.2 apresenta os principais componentes encontrados nos sistemas que utilizam esta tecnologia: leitores e etiquetas. Na Seção 3.3 é descrito o processo de comunicação entre os leitores e etiquetas. O sistema de *software* é apresentado na Seção 3.4. Um resumo do conteúdo apresentado por este capítulo é visto na Seção 3.5.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Identificação por rádio-freqüência é uma tecnologia que identifica objetos usando ondas de rádio-freqüência [14]. Uma de suas principais vantagens é possuir um alcance maior do que outras tecnologias de identificação automática ( *e.g.* código de barras, biometria e identificador de voz). Avanços recentes no campo de identificação por rádio-freqüência têm estimulado o surgimento de novas soluções para identificação de objetos e pessoas utilizando tal tecnologia. Uma forte demanda por soluções que utilizem a tecnologia RFID tem forçado os fabricantes a baixarem os preços das etiquetas e leitores, tornando a tecnologia mais acessível e viável para as empresas, indústrias e instituições científicas [52]. Tais etiquetas podem ser identificadas dentro da área do alcance de um leitor. Esforços têm sido empregados pela indústria para a padronização de protocolos e comunicação desta tecnologia. Sistemas RFID são operados em diferentes freqüências, desde ondas longas de 135 KHz até as microondas de 5,8 GHz [20]. Padrões tais como ISO 18000 e seus derivados e a nova geração de etiquetas UHF padronizadas pela EPCGlobal [19] tem contribuído para a expansão desta tecnologia.

## 3.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA RFID

Um sistema RFID é composto por leitores e etiquetas [60]. Nesta seção serão descritos tais componentes e sua importância no funcionamento da tecnologia.



**Figura 3.1** Ilustração representando o momento em que o leitor interroga as etiquetas em seu alcance

### 3.2.1 Leitores

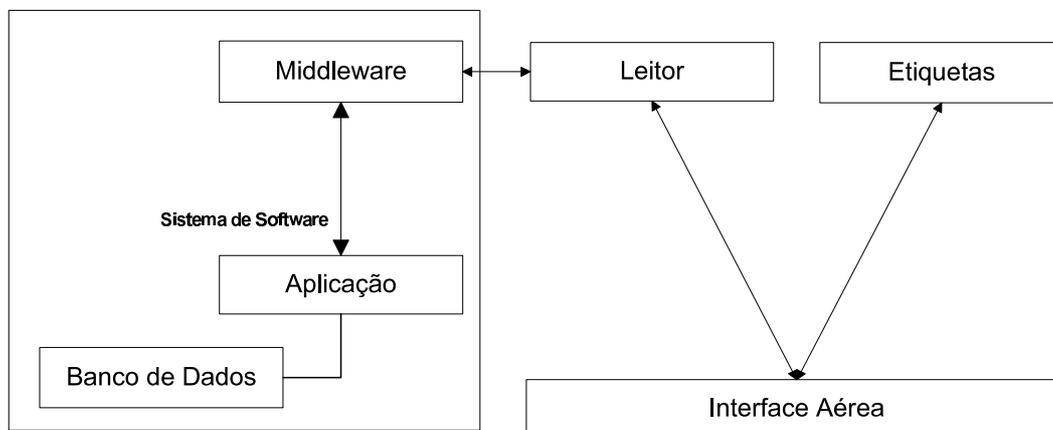
Leitores são dispositivos usados para interrogar as etiquetas RFID que estão situadas em seu alcance. Estes dispositivos lêem dados enviados por tais etiquetas e podem escrever informações nas mesmas, como o código de identificação única de cada etiqueta. Estes leitores são divididos em quatro subsistemas: API do leitor, comunicações, gerenciador de eventos, e subsistema de antenas [32].

**API** - permite o registro e a captura dos eventos de leitura de uma etiqueta RFID através de uma API. Além disso, esta API provê capacidade para configurar, monitorar e gerenciar o leitor.

**Comunicações** - este componente lida com as funções da rede. É responsável pela comunicação entre as etiquetas e os leitores e pela comunicação dos leitores com um servidor.

**Gerenciamento de Eventos** - leitores enxergam as etiquetas através de um processo chamado observação. Estas observações são colocadas em uma lista que fica armazenada no leitor ou enviadas para uma aplicação externa na rede.

**Antenas** - leitores RFID são capazes de interrogar as etiquetas RFID através de uma ou mais antenas.



**Figura 3.2** Componentes de um sistema RFID

Um leitor funciona da seguinte maneira: ele envia informações através de sinais para as etiquetas na sua zona de leitura. Estas etiquetas processam tais sinais e retornam novos sinais com a informação do código de identificação única da etiqueta para o leitor. Estes sinais são capturados pela antena do leitor e processados pelo microprocessador, no qual transforma o sinal em informação. Este microprocessador decodifica e verifica erros de sinais analógicos provenientes do receptor. Cada leitor usa um componente memória para armazenar dados tais como parâmetros de configuração e uma lista das etiquetas lidas. Um controlador é responsável pelo controle e pela comunicação entre um usuário ou *software* de computador e funções de um leitor. Este controlador pode ser montado através de dois modos: integrados dentro de um leitor ou distribuído como um componente separado. A interface de comunicação é responsável pela interação entre uma entidade externa (usuário ou *software*) e dados armazenados dentro do leitor. Esta interface pode ser parte do controlador ou está situada entre um controlador e as entidades externas. Existem dois tipos de interface: interface serial ou interface de rede. Por último, o componente de energia é responsável por fornecer energia para os componentes do leitor. Este componente pode ser conectado a uma saída elétrica externa, energia solar ou ser suprida por uma bateria.

Existem cinco tipos de leitores: leitores seriais, de rede, estacionários, ágeis e de mão [32].

**Leitores Seriais** - estes leitores usam um enlace de comunicação serial para se comunicar com uma aplicação. RS-232 ou RS-485 são portas comuns usadas por estes leitores.

**Leitores de Rede** - estes leitores se conectam com um computador usando rede cabeada e redes sem fio. O *firmware* do leitor pode ser atualizado remotamente e não requer quaisquer conhecimentos especializados de *hardware*.

**Leitor Estacionário** - estes leitores são montados em uma parede, mobília ou alguma estrutura adequada na zona de leitura. Estes leitores precisam de antenas externas para ler as etiquetas.

**Leitor Ágil** - este leitor pode operar em diferentes frequências ou pode usar diferentes protocolos de comunicações. Leitores ágeis normalmente são estacionários.

**Leitor de Mão** - leitores de mão ou *handheld* são leitores que um usuário pode operar como uma unidade móvel. Um leitor de mão geralmente tem antenas acopladas.

### 3.2.2 Etiquetas

Etiquetas RFID são dispositivos que armazenam e transmitem dados para um leitor. Estas etiquetas podem ser anexadas à objetos e são compostas por antenas e *chips*. Estes *chips* contém uma memória no qual os dados podem ser armazenados, escritos e lidos. Algumas etiquetas podem ser supridas ou não por baterias, dividindo as etiquetas em três classes: passiva, semi-passiva e etiquetas ativas.

Etiquetas passivas não têm fonte de energia como baterias, usando um mecanismo de *backscattering* para se auto-energizar. Este mecanismo consiste em refletir ondas ou sinais capturados pelos receptores de volta para seus transmissores. Ou seja, as etiquetas enviam dados para um leitor usando a energia do sinal emitida pelos mesmos leitores. Estas etiquetas são menores e mais baratas do que as etiquetas ativas. Entretanto, o alcance das etiquetas passivas é menor do que o das etiquetas ativas. Além disso, etiquetas passivas requerem leitores mais robustos e têm menor capacidade de memória.

Etiquetas ativas têm uma fonte de energia interna para desempenhar tarefas especia-

lizadas. Estas etiquetas são divididas em quatro componentes: *microchip*, antena, energia interna e eletrônica interna [32]. Estas etiquetas não precisam da energia proveniente do leitor para a transmissão dos dados. Elas podem se comunicar com leitores menos robustos e transmitir informações com alcances maiores. A distância de leitura de uma etiqueta ativa pode alcançar 30,5 metros aproximadamente ou mais quando o transmissor ativo de uma etiqueta é usada [32].

Etiquetas semi-passivas usam a bateria somente para energizar a eletrônica interna. A transmissão dos dados é feita usando a energia emitida de um leitor. Entretanto, por não usar o sinal do leitor para energizar a sua eletrônica, estas etiquetas podem ser lidas a uma distância maior quando comparadas com as etiquetas passivas [32]. Além do mais, tais etiquetas podem oferecer melhor capacidade de leitura quando estão anexadas à materiais opacos e absorventes. Assim como as etiquetas ativas, a distância de leitura de uma etiqueta semi-passiva pode ser de 30,5 metros aproximadamente usando um esquema de *backscatter* modulado.

As etiquetas podem ser classificadas pelo uso ou não da fonte de energia. Quatro classes são reconhecidas e discutidas em [32].

**Classe 0** - etiquetas passivas, somente leitura e programada em fábrica. Esta classe define o tipo mais simples de etiqueta. Contém apenas o número serial EPC e não tem memória no *chip*. Estas etiquetas podem ser usadas em sistemas anti-roubos de supermercados, *delicatessen*, bibliotecas.

**Classe 1** - etiquetas passivas, somente leitura. Todavia permite somente uma escrita de dados. Estas etiquetas podem ser programadas em fábrica ou o usuário pode programá-la. Estas etiquetas podem conter memória que armazenam dados de produtos onde serão anexados, tornando a informação mais completa.

**Classe 2** - etiquetas passivas, leitura e escrita. Permite-se a escrita de dados também. Estas etiquetas podem ser reescritas várias vezes.

**Classe 3** - etiquetas semi-passivas, leitura e escrita, com baterias e sensores. Estas etiquetas podem interagir com o produto, coletando dados como temperatura, pressão. Dados são registrados na memória da etiqueta e enviadas quando requeridas.

**Classe 4** - etiquetas ativas, leitura e escrita, com transmissores integrados. Estas etiquetas podem se comunicar com leitores e com outras etiquetas.

### 3.3 PROCESSO DE COMUNICAÇÃO

Três critérios são adotados em um sistema RFID: frequência de operação de um leitor, método de acoplamento físico e o alcance do sistema [26]. Em sistemas RFID, existem três classes de acoplamento: acoplamento próximo (0 à 1 cm), acoplamento remoto (0 à 1 m) e de longo alcance (>1m).

**Acoplamento próximo e remoto** - O acoplamento próximo e o acoplamento remoto podem ser operados em frequências de até 30 Megahertz devido a ausência dos campos de radiação na operação do transmissor e são acoplados usando ambos os campos elétricos e magnéticos. Estes tipos de acoplamento são adotados por aplicações que têm curto alcance e requerem requisitos de segurança. Fechadura de portas eletrônicas ou *smart card* são alguns dos exemplos que usam tais acoplamentos.

**Acoplamento de longo alcance** - Sistemas RFID com alcances acima de 1 metro são conhecidos como sistemas de longo alcance. Estes sistemas assumem dois métodos: *Back-scattering* e superfície acústica de ondas. Todos estes sistemas são operados em UHF e microondas. Típicos alcances de 3 metros podem ser alcançados usando transmissores passivos, enquanto que alcances de 15 metros ou mais podem ser alcançados usando transmissores ativos.

#### 3.3.1 Acoplamento Físico

Acoplamento é o processo de comunicação entre os leitores e as etiquetas. Existem três tipos de acoplamentos: indutivo, propagação ou proximidade eletromagnética e ondas acústicas de superfície [26].

**Acoplamento indutivo** - Sistemas de acoplamento indutivo consistem em modular campos eletromagnéticos em torno das antenas. Um leitor constrói um campo magnético alternado com determinada frequência *gamma*. Então a transferência de energia é re-

alizada através da indutância entre o circuito ressonante de uma etiqueta e o campo magnético do leitor.

**Acoplamento por propagação** - Em sistemas de acoplamento por propagação, existe uma modulação do sinal de rádio-frequência, no qual é transmitida pelas antenas de um transmissor e um receptor.

**Ondas acústicas de superfície** - Em ondas acústicas de superfície, um pulso interrogador de alta frequência do leitor é capturada pelo dipolo de uma etiqueta, sendo convertida pelo transdutor em onda acústica superficial. Esta onda se espalha na superfície da etiqueta, sendo parte da onda refletida e parte conduzida até o fim desta superfície, sendo absorvida.

### 3.3.2 Protocolos de Anti-colisão

Existem vários protocolos anti-colisão para RFID. Nesta seção são revistos os mais comuns destes protocolos tais como *Slotted Aloha*, *Adaptive Binary Tree*, *Slotted Terminal Adaptive Collection (STAC)* e a segunda geração da especificação EPC [56].

*Slotted Aloha* é uma melhoria do puro *Aloha*. Como o puro *Aloha*, as etiquetas são responsáveis em enviar seu código de identificação por um período aleatório de tempo. Entretanto, este protocolo emprega a singulação, forçando as etiquetas à transmitirem somente no início de um *slot* de tempo particular. Uma das principais vantagens em relação ao Puro *Aloha* é a redução no número de colisões.

Algumas etiquetas RFID tais como EPC classe 0 e 1 (geração 1) usam o protocolo de árvore binária adaptativa. Este protocolo emprega uma busca binária para encontrar uma etiqueta entre várias. Diferente do *Slotted Aloha*, com este protocolo as etiquetas respondem imediatamente. O protocolo requer que somente um leitor esteja envolvido.

O protocolo STAC é similar ao *Slotted Aloha*. Entretanto, STAC é definido como parte da especificação EPC para etiquetas de alta-frequência (HF). Este protocolo é adequado para grandes quantidades de etiquetas. Além do mais, este mecanismo pode escolher somente etiquetas que pertençam a um grupo ou classe de objetos.

A última revisão do EPC UHF Classe 1 é chamado de protocolo geração 2. Este

protocolo suporta singulação de etiquetas muito mais rápidos do que o protocolo anterior. Uma das principais vantagens é o maior suporte à segurança. Uma explicação mais detalhada destes protocolos pode ser vista em [56].

### 3.4 SISTEMA DE SOFTWARE

O sistema de *software* é responsável em traduzir a informação recebida pelos leitores ou executar comandos e interagir com o usuário. *Middleware* e padrões fazem partes destes sistemas. A aplicação também é responsável em iniciar todos os leitores e as atividades das etiquetas.

#### 3.4.1 Middleware

O *middleware* é responsável pela conexão entre a camada do leitor, cuja função básica é ler os dados, e a camada de aplicação, cuja função é usar tais dados. RFID *middleware* é um sistema de *software* que coleta dados criados pela leitura das etiquetas de RFID. Este *middleware* padroniza o controle de fluxo da informação, além de prover conectividade com os leitores e interface a nível de aplicação. O RFID *middleware* filtra, resume e formata os dados das etiquetas recebidas por um leitor para que possa ser processado por uma aplicação [15].

Dentre as funções básicas deste *middleware*, destacam-se: suportar a independência entre os protocolos dos leitores heterogêneos; gerenciar dados através da coleta em tempo real; e inter-operar com sistemas legados, sendo integrado com a aplicação.

Vários produtos de *middleware* que atualmente estão em desenvolvimento são baseados nos padrões *EPCglobal*, também conhecido como *Savant* [9]. *Savant* é um programa que processa e gerencia eventos EPC baseados nos dados EPC gerados continuamente. Também é responsável por capturar e monitorar os dados EPC e transmitir estes dados. Informações mais detalhadas sobre o *middleware* é vista em [9].

### 3.4.2 Padrões

RFID é uma tecnologia de comunicação de rádio e como tal, é sujeita a regulamentação governamental na maioria dos países. Regulamentação governamental é requerida para coordenar o uso do espectro eletromagnético entre possíveis competidores, tais como rádio, televisão e sistemas de telefone celular, assim como proteger os interesses públicos.

Padrões existentes são divididos por espectro de frequência. Cada espectro tem características que influenciam na velocidade e na qualidade do sinal. Existem quatro bandas RFID: LF, HF, UHF, e microondas [17].

**Low Frequency (LF)** - tem um alcance de 30 KHz à 300 KHz. Um típico sistema de baixa-frequência RFID opera em 125 KHz ou 134,2 KHz. Estes sistemas normalmente usam etiquetas passivas, têm baixas taxas de transferência entre a etiqueta e o leitor, e têm bom desempenho em ambientes que contém metais e líquidos.

**High Frequency (HF)** - tem um alcance de 3 MHz à 30 MHz. A maioria destes sistemas RFID usam a frequência de 13,56 MHz. Um típico sistema HF usa etiquetas passivas, tem baixas taxas de transferências e oferece um fraco desempenho na presença de metais e líquidos.

**Very High Frequency (VHF)** - tem um alcance de 30 à 300 MHz. Não existem sistemas RFID atuais operando neste intervalo.

**Ultra high frequency (UHF)** - tem um alcance de 300 MHz à 1 GHz. Leitores e etiquetas que usam este intervalo têm taxas de transferência de dados rápida, todavia possuem um baixo desempenho na presença de líquidos e metais. Um típico sistema UHF RFID opera em 315 MHz e 433 MHz.

**Microwave** - tem um alcance acima de 1 GHz. Sistemas RFID empregam microondas na frequência 2,45 Ghz ou 5,8 Ghz. Estes sistemas podem ser usados ambos em semi-passiva e etiquetas passivas e têm as taxas mais rápidas de transferência de dados entre uma etiqueta e um leitor. Tem um desempenho muito baixo na presença de metais e líquidos.

O Código Eletrônico de Produto (EPC) [19] é uma família de esquemas de codificação para identificação de objetos. Este padrão provê especificações técnicas e códigos de

**Tabela 3.1** Classes de um sistema RFID

Tipo	LF	HF	UHF	Microondas
Frequência	125 ou 134,2KHz	13,56MHz	860 ou 930MHz	2,45 ou 5,8GHz
Alcance	< 0,5 m	= 1m	entre 4 a 5m	= acima
Fonte/Energia	Acop. Mag.	Acop.Mag	Acop.Eletrom.	Acop. Eletrom.
Múltiplas leituras	Baixa	Moderada	Rápida	Rápida
Ambiente metálico	Melhor	Moderado	Ruim	Pior
Tamanho Etq.	Grande	Moderado	Pequeno	Pequeno

identificação única. A versão atual é conhecida como EPC geração 2. Dentre as suas vantagens, destacam-se a capacidade de transmissão, recepção de dados, velocidade de leitura e mecanismos de anti-colisão.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES

Este capítulo apresentou os fundamentos essenciais da tecnologia de identificação por rádio-frequência. Foram vistos os componentes que formam a essência desta tecnologia, assim como os principais protocolos envolvidos no processo de comunicação. Além disso, os componentes que envolvem um sistema de *software* foram apresentados.

Uma observação interessante é o fato de que a maioria dos sistemas de localização baseados em ondas de rádio-frequência ( *e.g.* RFID) usam medições por força do sinal para estimar a localização. Esta técnica tem melhor desempenho em condições de ausência de visada direta, sendo estas condições tipicamente encontradas em ambientes *indoor*. Por outro lado, técnicas como tempo de chegada, diferença de tempo de chegada e ângulo de chegada têm um melhor desempenho em condições de visada direta.

Vários fatores devem ser considerados quando se quer projetar um sistema de localização baseado em RFID. Fatores como restrições de energia, posicionamento de leitores e etiquetas, alcance do leitor, e *middleware* são relevantes para o sucesso destes sistemas. Entretanto, a variação típica da força do sinal encontrada em ambientes *indoor* interfere no desempenho de tais e os mesmos devem empregar técnicas ou mecanismos para reduzir

tais influências.

## CAPÍTULO 4

# SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR

Este capítulo descreve o estado da arte de sistemas de localização *indoor*. Neste capítulo, são descritos o funcionamento e os experimentos realizados em cada sistema analisado por esta dissertação, além de analisar os resultados obtidos destes experimentos. O objetivo principal deste capítulo é provar a dificuldade que as aplicações têm em identificar corretamente a região onde o objeto está localizado quando os sistemas de localização obtêm baixas acurácias. Uma descrição detalhada destes sistemas é apresentado nas Seções 4.2, 4.3 e 4.4. Também são descritos por estas seções *testbeds* experimentais e erros de estimativa de cada sistema. Na Seção 4.5 é apresentada uma discussão sobre as implicações dos erros de estimativas em sistemas de localização *indoor*.

### 4.1 INTRODUÇÃO

Sistemas de localização *indoor* diferem dos sistemas de localização *outdoor* principalmente por considerar as restrições de espaço e um alto número de obstáculos. Além disso, tais sistemas sofrem com a dinâmica dos sinais nestes ambientes, caracterizado pela alta flutuação da força do sinal eletromagnético. Por isso, um sistema de localização projetado para ambientes *indoor* deve ter acurácias maiores do que os sistemas projetados para *outdoor* com o intuito de que a localização de um objeto seja estimada dentro deste ambiente. Por exemplo, um dispositivo GPS pode estimar a sua localização considerando erros de estimativa em torno de 10 à 100 metros [18]. Para aplicações que exigem informação de localização com granularidade fina, estes erros são inaceitáveis. Portanto, vários sistemas de localização *indoor* empregam técnicas e algoritmos visando reduzir tais erros. É importante notar que todos os sistemas de localização mencionados

neste capítulo têm em comum o uso de infra-estrutura e de um sistema de coordenadas baseado em eixo. Sistemas de localização autônomos e *ad-hoc* não são consideradas nesta dissertação. Sistemas *indoor* são classificados pela tecnologia de sinalização empregada e uma descrição detalhada sobre os principais sistemas encontrados na literatura é apresentada nas próximas seções.

## 4.2 SISTEMAS BASEADOS EM CONTATO FÍSICO

Estes sistemas usam o contato físico para estimar a localização. Sistemas como ORL [2] e Smart Floor [42] aplicam tal abordagem para a identificação e localização de pessoas em um ambiente *indoor*.

### 4.2.1 Smart Floor

O *Smart Floor* [42] é um sistema de localização clássico no qual identifica pessoas através de sensores de pressão espalhados pelo chão. Tais sistemas armazenam modelos de pegadas de cada usuário e identifica-o através da interação com os sensores de pressão. Este sistema precisa de calibramento e aplica um algoritmo de busca por vizinhos mais próximos para associar pegadas não identificadas com um grupo de pegadas mais próximas do conjunto de treinamento. Uma desvantagem é o alto custo da manutenção e distribuição, ao passo que o chão do ambiente deve ser preenchido com tais sensores.

Em *Smart Floor*, mede-se o perfil das pegadas de um usuário quando o mesmo caminha por cima dos sensores de pressão espalhados em um ambiente. Esta medição é realizada considerando o peso e a inércia de um corpo em contato com o dispositivo. Usando um método de agrupamento de pegadas, autores alcançam 93% de identificação correta. Este sistema alcança 100% de acurácia por que sabe em qual área o usuário está pisando.

### 4.3 SISTEMAS BASEADOS EM ANÁLISE DE IMAGENS

Estes sistemas utilizam processamento de imagens, tendo câmeras espalhadas pelo ambiente. Um dos sistemas mais conhecidos baseados em análise de imagens é o *Easy Living*.

#### 4.3.1 Easy Living

O *Easy Living* [30] consiste em dois computadores e duas câmeras Triclops inseridas em uma determinada área ou cômodo de um ambiente *indoor*. Cada câmera é conectada a um computador. Estas câmeras identificam as regiões que são similares a imagem de um ser humano ou objeto localizável e envia tais informações para um programa de rastreamento. Este programa aplica um algoritmo que subtrai o plano de fundo destas regiões observadas (conhecidas como *Blobs*) em cada campo de visão da câmera. Tais *blobs* são divididos em regiões que representem possíveis partes do corpo humano e é aplicado um algoritmo para diferenciar as pessoas ou objetos analisados. Então, o programa de rastreamento associa o conhecimento das duas localizações relativas das câmeras e a heurística no movimento das pessoas para estimar a localização e identificação das pessoas dentro de uma área ou cômodo.

*Easy Living* usa uma imagem capturada por câmeras montadas na parede para identificar pessoas ou objetos em uma sala. Segundo os experimentos feitos pelos autores, o processo de rastreamento opera com alto desempenho até três pessoas. Com mais de três pessoas se movendo, obstruções podem causar rastreamentos incoerentes. A acurácia é variável, embora seja limitada pelas dimensões da área em que a infra-estrutura está instalada. Nestes experimentos, duas câmeras são suficientes para estimar a localização.

### 4.4 SISTEMAS BASEADOS EM ONDAS

Os sistemas de localização baseados em ondas são os mais difundidos na literatura. Estes sistemas são divididos em três tipos: infra-vermelho, ultra-som e rádio-freqüência.

#### 4.4.1 Infra-Vermelho

Como visto anteriormente, a tecnologia infra-vermelha consiste em sinais eletromagnéticos com frequências entre 300 GHz à 400 THz. O principal sistema classificado neste grupo é o *Active Badge*.

##### 4.4.1.1 Active Badge

Um dos primeiros sistemas de localização projetados para ambientes *indoor* foi o *Active Badge* [61]. Este sistema é composto por crachás eletrônicos que periodicamente enviam informações de identificação (um código único ou ID) para uma rede de sensores instalada em uma área ou cômodo. Estes sensores podem ser colocados nas paredes, no teto, nas entradas e saída dos corredores. Transmissores e receptores infra-vermelho são usados para a comunicação entre os crachás e a rede. Um servidor controla tais sensores e estima a localização por proximidade. Este servidor captura o código emitido pelo infra-vermelho e compara-o com uma tabela de IDs. A localização é estimada por identificar a posição dos sensores que capturaram tais códigos. Entre as suas desvantagens, destacam-se o alcance limitado e o baixo desempenho na presença de luz solar direta. Além disso, a estimativa de localização é limitada pelas delimitações do ambiente em que a rede de sensores é inserida.

Os autores do *Active Badge* constataam que a estimativa acontece apenas dentro de uma determinada área ou cômodo. Ou seja, a acurácia é limitada pelo tamanho desta área e um grande esforço é aplicado para distribuir uma infra-estrutura de sensores infra-vermelhos em cada área de um ambiente *indoor*, embora o sistema assegure com alta precisão e acurácia em qual ambiente o objeto está localizado. No *Active Badge*, a acurácia diminui quando o objeto localizável está se movendo.

#### 4.4.2 Ultra-Som

Os principais sistemas classificados neste grupo são o *Active Bat* e o *Cricket*.

#### 4.4.2.1 Active Bat

*Active Bat* [62] é um sistema de localização baseado em ultra-som. Este sistema consiste em um microprocessador, um *transceiver* de 418 MHz de rádio, um FPGA, e um vetor hemisférico de 5 transdutores ultrasônicos. Este sistema tem a mesma infra-estrutura do *Active Badge*, entretanto usa a técnica ToA para estimar a localização. Um controlador (local) envia uma requisição para iniciar o processo de estimativa da localização através de sinais de rádio de curto alcance. Em resposta a essa requisição, um dispositivo (conhecido como *Bat*) emite um pulso ultrasônico para uma rede de sensores montados no teto de uma região ou cômodo de um ambiente *indoor*. Ao mesmo tempo, este controlador envia um pacote de requisição em rádio-frequência para todos os sensores. Cada sensor mede o intervalo de tempo entre o reinício de uma nova requisição e a chegada do pulso ultrasônico para estimar a distância de tais sensores em relação ao dispositivo. O controlador passa estas medições para um outro controlador (central), efetuando o cálculo da localização do *Bat*.

Os autores em *Active Bat* reportam uma acurácia de 9 cm utilizando tais *grids*, sendo a precisão de 95% dentro de 14cm e 95% dentro de 8cm quando a média é acima de 10 amostras.

#### 4.4.2.2 Cricket

O sistema de localização *Cricket* [48] aplica a técnica TDoA entre sinais do ultra-som e sinais de rádio-frequência para calcular a localização. Este sistema é formado por *beacons* e receptores. *Beacons* são pequenos dispositivos anexados ao chão ou na parede no qual enviam periodicamente informações em rádio-frequência sobre o seu espaço geográfico para os receptores. Estes receptores captam tais mensagens, e as usam para inferir o seu espaço atual. Programas que rodam no receptor usam uma API para inferir a sua localização. Este sistema não requer uma *grid* de sensores no teto com localizações fixas como no *Active Bat*, pois os seus receptores móveis são responsáveis pelo cálculo da localização. *Cricket* estima a localização através de lateração e de técnicas de proximidade.

Os receptores triangulam a posição quando recebem informações de múltiplos *beacons* e estimam a localização usando a técnica de proximidade quando os mesmos recebem informações de apenas um único *beacon*. Dentre as suas vantagens, destacam-se uma maior ênfase em privacidade e escalabilidade descentralizada. Todavia, tais sistemas possuem alta sobrecarga computacional, exigindo uma maior complexidade do *hardware*.

Em *Cricket*, *beacons* são espalhados em espaços geográficos distintos. Este sistema alcança alta acurácia quando seus *beacons* são distribuídos em *grids* com área de 5 metros aproximadamente. Entretanto, este sistema tem melhor desempenho em experimentos móveis do que o *Active Badge*.

### 4.4.3 Rádio-Freqüência

Os principais sistemas classificados neste grupo são o RADAR, *Probabilistic WLAN location*, *Horus*, LEASE e LANDMARC.

#### 4.4.3.1 RADAR

RADAR [4] é um sistema baseado em rádio-freqüência que emprega o padrão IEEE 802.11. Este sistema estima a localização ou por análise de cena ou por técnicas de lateração. É necessário fazer um mapa contendo as forças do sinal medido em um ambiente *indoor* (calibramento) antes de se estimar a localização. Este mapa é comparado com as forças do sinal capturados pelos receptores no processo de estimativa. RADAR triangula as coordenadas de um objeto localizável comparando as informações de força dos sinais recebidos com o mapa criado anteriormente. A triangulação é feita usando ambas as informações da força do sinal determinada empiricamente e teoricamente. Primeiramente, medem-se várias vezes as forças do sinal em uma determinada localização para cada estação base e calcula-se uma média destas amostras. Estas informações serão cruzadas com a informação da força do sinal proveniente do objeto localizável, aplicando a técnica KNN. Esta técnica calcula a distância entre esta informação e o mapa de forças do sinal. Além do mais, procura a localização que minimiza a distância Euclidiana

entre tais forças do sinal. Dois métodos são estudados: métodos empíricos e modelo de propagação. No primeiro, usam-se os dados empíricos coletados na fase de calibramento para construir o espaço de busca para o algoritmo KNN. No último, modelos de propagação são empregados para estimar as forças dos sinais. Entre as suas desvantagens, este sistema tem um grande esforço em executar a fase de calibramento e o processo de criação do mapa pode ser repetido em algumas circunstâncias.

Em [4], experimentos são conduzidos no segundo andar de um prédio com 3 andares. Neste andar, existem mais de 50 áreas. As dimensões do andar são de 43,5 m por 22,5 m, totalizando uma área de 980 m<sup>2</sup>. Três estações base e um dispositivo móvel são considerados neste trabalho. A rede opera na frequência de 2,4 GHz, com alcance de 200 m em ambientes abertos, 50 m em ambientes semi-abertos, e 25 m em ambientes fechados. Três métodos de estimativa são avaliados: método empírico, randômico, e método da estação base mais forte. Os autores argumentam que o método empírico tem um melhor desempenho do que os outros dois métodos. Resultados mostram que o método empírico obtém um erro de 1,92, 2,94, e 4,69 m em 25, 50, e 75 percentil, respectivamente. Ambos os métodos randômicos e da estação mais forte obtém um erro maior do que 4 m em todos os percentis. Os autores notam que a aplicação do menor valor de  $k$  em métodos empíricos é insignificante. Entretanto, para valores altos de  $k$ , a acurácia degrada rapidamente.

#### 4.4.3.2 Probabilistic WLAN location

RADAR usa métodos determinísticos ( *e.g.*  $K$  nearest neighbors) para calcular a localização de um objeto. Os autores em [49] aplicam métodos probabilísticos para estimar a localização de um objeto. Esta abordagem não considera as propriedades físicas da propagação do sinal diretamente. Ao invés, modela-se como as forças dos sinais são distribuídas em diferentes áreas geográficas com amostras das medições capturadas em várias localizações conhecidas. Dois métodos são aplicadas: *kernel* e método do histograma. No primeiro, uma densidade de probabilidade é associada a um centro *kernel* em torno de cada uma das observações nos dados de treinamento. No segundo, estimam-

se as funções de densidade mudando os valores contínuos em discretos. Este trabalho declara que o primeiro passo para se estimar a localização é armazenar um conjunto de medições de sinais coletadas de várias localizações, sendo cada medição rotulada com a localização correta. Um modelo de mapa de rádio é construído. Usa-se este modelo para estimar a localização quando novas medições dos sinais são coletadas. Aplicando a regra de *Bayes*, obtém-se a distribuição posterior da localização. Então estima-se a função de probabilidade dos dados usando o método *kernel* ou histograma.

Os autores em [49] fazem um experimento consistindo em um típico escritório de um andar (16x40 m) com concreto, madeira e estruturas de vidro. 10 pontos de acesso são distribuídos pelo ambiente analisado. Aspectos tais como variação no número de pessoas e sua localização, ar, umidade e temperatura são considerados. Dados de treinamento são coletados através de um *grid* de 2 m, com 155 pontos de calibramento e 40 observações em cada ponto. Neste cenário, três algoritmos são comparados: KNN, *kernel* e histograma. Verifica-se que o KNN tem uma acurácia de 3,71 m, enquanto que nos métodos probabilísticos (Kernel e Histograma) encontra-se uma acurácia de 2,57 m e 2,76 m respectivamente. Usando 20 observações, a acurácia é de 1,67 m (KNN), 1,69 m (Kernel) e 1,56 m (Histograma). Os autores argumentam um melhor resultado na acurácia dos métodos probabilísticos do que os métodos determinísticos.

#### 4.4.3.3 Horus

O *Horus* [64] é um sistema baseado em cliente que usa técnicas de localização por agrupamento para reduzir os esforços computacionais no processo de estimativa da localização. É baseado no padrão 802.11, e permite ser implementado em dispositivos com restrições de energia, suportando vários usuários. Durante a sua fase *offline*, o sistema armazena a força de sinal recebida de cada ponto de acesso e agrupa-os em um mapa de rádio único. Este mapa contém a distribuição das forças de sinal recebida de cada ponto de acesso em cada localização estimada na fase de calibramento. Na fase *online*, associa-se o mapa do rádio com as amostras da força do sinal recebida dos pontos de acesso e estima-se a localização. *Horus* pode aplicar dois modos de operação: distribuições não paramétricas

e paramétricas.

Similarmente como em [49], o sistema *Horus* aplica técnicas probabilísticas para estimar a localização. Dois *testbeds* são considerados neste sistema. O primeiro é realizado no quarto piso de um prédio na universidade de Maryland. O lugar tem a dimensão de 68,2 m por 25,9 m. 21 pontos de acesso cobrem este ambiente e 172 localizações são realizadas, sendo 110 ao longo dos corredores e as restantes 62 localizações dentro das áreas. O segundo é desempenhado em outro espaço de escritório. A área do experimento é aproximadamente 11,8 m por 35,9 m cobrindo corredores e áreas. Cinco pontos de acesso e um ponto de acesso da Cisco cobrem a área teste. 110 localizações no mapa de rádio são medidos. Em média, cada localização é coberta por 4 pontos de acesso. Em cada localização do mapa de rádio, 100 amostras são coletadas. Este sistema pode alcançar uma acurácia de 1,4 à 1,8 m em 90% das vezes. Os autores do *Horus* faz uma comparação entre o mesmo, RADAR e LEASE. Estes resultados mostram que a acurácia média do sistema *Horus* é melhor do que a do RADAR por mais de 89% para o primeiro experimento e 82% para o segundo experimento. Comparando o LEASE com o *Horus*, o erro médio é reduzido para mais de 35% no primeiro experimento e 27% no segundo experimento. Também são comparados o desempenho do sistema *Horus* com o desempenho do sistema RADAR. Em termos de requisitos computacionais, o sistema *Horus* é mais eficiente por mais de uma ordem de magnitude.

#### 4.4.3.4 LEASE

O sistema LEASE [29] emprega técnicas não paramétricas para a construção de modelos, mantendo uma alta acurácia. É composto por três componentes: emissores estacionários, *sniffers* e o motor(*engine*) de estimativa de localização. Emissores estacionários consiste em transmissores sem fio que enviam poucos pacotes esporadicamente. Não existe conectividade com a rede, pode ser operado por bateria e deve usar a mesma tecnologia de rádio-frequência dos *sniffers*. Sua função é enviar pacotes com a informação de suas coordenadas. Esta informação é definida como uma coordenada (x,y) e pode ser mapeada por uma tabela mantida ou no motor ou nos *sniffers*. Estes *sniffers* são pequenos

dispositivos que monitoram o meio sem fio, capturam o RSSI dos clientes e emissores estacionários, e enviam para o motor. Eles têm conectividade com a rede e com o motor, e estão ligados à uma fonte de energia. Os *sniffers* podem servir como ponte entre o AP e o resto da rede, além de poder adicionalmente desempenhar a função de um emissor estacionário. O motor coleta as forças dos sinais capturadas pelos *sniffers* e a informação da coordenada dos emissores estacionários. Com estas informações, constrói-se um modelo de força do sinal para a estimativa de localização. Então o motor aplica o vetor das forças do sinal provenientes do objeto localizável e cruza com o modelo para estimar a localização. Duas variações do KNN é aplicada para se estimar a localização.

O sistema LEASE usa um algoritmo de interpolação para estimar a localização de um objeto. Dados da força do sinal recebido são coletados em em duas áreas. A primeira área tem 5 APs. São realizadas 259 medições RSS ao longo dos corredores desta área, e 119 medições dentro dos escritórios e laboratórios. As medições foram feitas em diferentes sessões durante vários dias. Devido a colinearidade dos três APs, são instaladas dois APs temporários configurados de tal modo que os clientes podem ver os *beacons* dos APs temporários mas não são capazes de associá-lo. Segundo os experimentos realizados por este trabalho, este sistema relata erros médios de 4,5, 3,6 e 3,16 m, respectivamente.

#### 4.4.3.5 LANDMARC

Alguns trabalhos propõe o uso do RFID como sistemas para localização. Os autores em [40] propõe um sistema de localização com o intuito de reduzir o número de leitores RF em um ambiente *indoor*. Este sistema usa etiquetas ativas como pontos fixos de referência. O leitor mede a força do sinal do objeto localizável e compara com a força do sinal das etiquetas de referência mais próximas. Um algoritmo define pesos para cada vizinho mais próximo e estima a localização. Alguns trabalhos têm proposto melhorias para este sistema. Em [28], é proposto um novo mecanismo para reduzir a carga computacional do sistema. Este mecanismo diminui o número de etiquetas vizinhas mais próximas essenciais para calcular a etiqueta localizável. Os autores em [67] apresentam uma plataforma de simulação baseada em RSSI para um sistema de localização RFID.

Todas as etiquetas de referência são organizadas em *grids* simétricos. Este trabalho alcança uma melhor acurácia usando 8 etiquetas de referência vizinhas mais próximas. Os autores em [68] apresentam o VIRE ( *Virtual Reference Elimination*), uma abordagem de localização que alcança melhores posições da etiqueta localizável. Esta abordagem filtra posições indesejadas sem adicionar etiquetas de referência extra. Resultados mostram que o método VIRE alcançam uma melhor precisão de 17 à 73% em relação a abordagem LANDMARC. Os autores em [46] efetuam uma avaliação de desempenho entre o LANDMARC e o algoritmo RSI (RSSI Spatial Interpolation). Este estudo indica limitações no uso destas técnicas em determinados cenários.

No LANDMARC, uma série de experimentos são realizados para avaliar o desempenho do posicionamento dos leitores e etiquetas de referência em ambientes *indoor*. Estes experimentos utilizam 4 leitores, 16 etiquetas de referência e 8 etiquetas localizáveis espalhadas pelo cenário. Os dados são coletados através de um concentrador e agrupados em um período de uma hora, sendo o sistema responsável em computar as coordenadas das etiquetas localizáveis de acordo com cada grupo de dados. Os experimentos foram conduzidos em um período de 48 horas, obtendo no total, 48 grupos de dados. O sistema então aplica o KNN para calcular as coordenadas das etiquetas localizáveis. Os resultados mostram um desempenho superior em relação a sistemas de localização que empregam rádio-freqüência tais como o RADAR. Enquanto que no RADAR, por exemplo, a acurácia fica em torno de 2,37 à 2,65 m com uma precisão de 50% e 5,93 à 5,97 m com uma precisão de 90%, o LANDMARC obtém acurácias menores do que 2 m. Os autores constataam que uma etiqueta de referência é necessária para cada metro quadrado para eficazmente localizar objetos dentro de um erro de localização entre 1 à 2 m.

Este sistema é utilizado como base do sistema proposto por esta dissertação, sendo detalhado o seu funcionamento no próximo capítulo.

## 4.5 CONSIDERAÇÕES

Sistemas de localização que utilizam ondas de rádio-freqüência possuem acurácias menores em relação a sistemas que utilizam outros tipos de sinalização. Este fato é devido a insta-

bilidade da força de sinais RF influenciadas por fenômenos físicos como reflexão, absorção, espalhamento e difração. Tais fenômenos são provenientes da presença de obstáculos (*e.g.* divisórias, paredes), o fluxo de pessoas, a temperatura do ar e a geometria do ambiente. Além disso, as interferências eletromagnéticas contribuem para esta instabilidade.

A inconstância típica de um sinal eletromagnético em ambientes *indoor* podem fazer com que uma aplicação identifique incorretamente em qual ambiente um objeto está inserido. Um problema encontrado na revisão de literatura é o fato de que os sistemas de localização analisados não lidam com tal consequência. Por exemplo, algumas tecnologias que usam proximidade têm uma acurácia limitada pelo tamanho da área, fazendo com que os erros de estimativa não ultrapassem os limites de tal área. A revisão da literatura feita por esta dissertação constata um erro médio das tecnologias de visada indireta entre 1 à 5 m, o que aumentam as chances de um objeto ser identificado em outra área ou cômodo. Portanto, a aplicação deve ter a capacidade de identificar em qual ambiente a etiqueta está inserida, levando em conta tais erros de estimativa.

Uma maneira de aumentar a acurácia de um sistema de localização é aumentar o número de dispositivos utilizados pela sua infra-estrutura. Os dispositivos são posicionados próximos entre si, com o intuito de reduzir os erros de estimativa de localização. Entretanto, o custo associado a tal melhoria é elevado, o que pode inviabilizar a sua aplicação. Por exemplo, sistemas de localização como o LANDMARC utilizam uma infra-estrutura de leitores e etiquetas de referência. Entretanto, estas etiquetas substituem outros leitores que seriam utilizados pelo sistema, reduzindo o seu custo. Os autores constatam que o número ideal de etiquetas de referência vizinhas mais próximas da etiqueta a ser localizada é 4. Aumentando este número, observa-se uma melhora irrelevante na acurácia. Para que o sistema obtenha maiores acurácias, é necessário uma maior quantidade de etiquetas de referências e leitores espalhados pelo ambiente e próximos entre si, o que implica em maiores custos do sistema. Em aplicações que localizam um objeto em uma área delimitada, erros de estimativa constatados por estes sistemas podem dificultar a identificação correta da área onde o objeto localizável está inserido.

Sistemas de visada direta não precisam de mecanismos para identificar em qual área o objeto está inserido, por que o seu alcance é limitado pelas dimensões desta área. Entretanto, tecnologias de visada indireta devem ter a capacidade de estimar em qual área o objeto está localizado. As tecnologias de visada direta citadas acima alcançam erros acima de 1 m, o que pode comprometer a informação sobre em qual área o objeto se encontra. Por exemplo, assume-se o seguinte cenário: um objeto está localizado próximo a uma parede e o usuário quer localizá-lo. Erros de estimativa nestes sistemas podem induzir o sistema a localizar na área ou cômodo ao lado.

## CAPÍTULO 5

# SISTEMA DE AUXÍLIO PROPOSTO

No capítulo anterior, é constatado que vários sistemas de localização *indoor* baseados em rádio-frequência apresentam erros de estimativa acima de 1 m de distância. Também é visto que, quando o usuário deseja saber apenas se o objeto ou a pessoa está dentro de uma área delimitada, tais erros podem levar à uma identificação incorreta da área ou cômodo onde o objeto localizável está inserido. Ou seja, a ausência de sistemas que lidem com este problema implica em uma maior probabilidade destas aplicações não saber aonde o objeto está realmente localizado. Este capítulo descreve um sistema que aumenta as chances de identificar corretamente a área onde um objeto está posicionado. O sistema de localização escolhido para a aplicação do algoritmo proposto é o LANDMARC. O principal motivo desta escolha advém da crescente pesquisa em soluções para localização baseadas em RFID. Primeiramente, uma síntese sobre como a propagação de um sinal eletromagnético se comporta nos ambientes *indoor* é realizada na Seção 5.1. Na Seção 5.2 é detalhado o algoritmo do LANDMARC. Depois, o sistema proposto por esta dissertação e os cenários avaliados são descritos na Seção 5.3. Por último, são discutidas as considerações sobre o conteúdo apresentado neste capítulo.

### 5.1 PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM AMBIENTES INDOOR

Predizer e compreender o comportamento das ondas de rádio-frequência em ambientes *indoor* não é uma tarefa fácil. Além da alta variabilidade de um sinal eletromagnético recebido devido a dinâmica existente nestes ambientes, fenômenos físicos derivados da natureza de tais ondas como reflexão, absorção, espalhamento, difração e interferência dificultam a criação de modelos para a propagação destes sinais. Por exemplo, reflexões

podem implicar na distorção dos sinais através de um fenômeno conhecido como multi-percurso. Este fenômeno é denotado pela recepção de múltiplas ondas com o mesmo sinal no receptor. Outro exemplo seria a presença de um aquário em um ambiente, absorvendo grande parte da energia de uma onda. Para prever o comportamento das forças dos sinais nestes ambientes é necessário a construção de modelos de propagação que levem em conta os fatores mencionados anteriormente. Uma pequena revisão sobre estes fenômenos físicos e modelos de perda de caminho são discutidos nas próximas seções.

### 5.1.1 Fenômenos Físicos

Reflexão é um fenômeno onde muda a direção de propagação de uma onda quando a mesma alcança uma superfície de reflexão. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Alguns materiais podem, além da reflexão, absorver parte da energia refletida. Em ambientes *indoor*, estas ondas podem ser refletidas por paredes, objetos reflexivos e pessoas. A reflexão é um dos fenômenos causadores do efeito multi-percurso, implicando em distorções e afetando a qualidade da comunicação entre o transmissor e o receptor.

A difração pode ser definida como a curvatura que uma onda faz quando cruza um obstáculo. Isto acontece por que o objeto tem a mesma ordem de magnitude que o seu comprimento de onda. Formam-se ondas secundárias onde se propagam por todas as direções em torno do objeto. Depende de fatores como a geometria do objeto, amplitude, fases e polarização das ondas incidentes no ponto da difração.

O fenômeno da absorção acontece quando parte da energia de uma onda de rádio-frequência é absorvida por um determinado material ou objeto. Um dos fatos mais relevantes é a mudança das forças do sinal na presença de uma obstrução. Por esta razão é importante conhecer os objetos e materiais inseridos no ambiente, para que possa ser estimado com maior acurácia o mapa de força destes sinais.

O fenômeno da interferência pode ocorrer de várias fontes, tais como temperatura, presença de outras fontes de rádio como telefone celular, rádios móveis e descarga eletrostática. Existem dois tipos de interferência: construtiva e destrutiva. Na construtiva, os sinais influenciados podem aumentar as forças do sinal, contribuindo para uma melhor

transmissão. Na destrutiva, os sinais podem reduzir ou até mesmo se anularem. Por exemplo, muitos dispositivos de rádio móvel usam a banda de frequência 2,4 GHz, aumentando as chances de ocorrência da interferência entre os sinais. *Bluetooth*, Wi-fi, RFID (UHF), *ZigBee* são exemplos de tecnologias que podem usar este espectro de frequência.

Espalhamento é um fenômeno que ocorre quando não uniformidades localizada no meio de transmissão dos sinais implicam no desvio da trajetória das ondas eletromagnéticas. Luz, som ou partículas em movimento são influenciadas por este fenômeno. Além disso, o desvio da radiação refletida também é considerada por este fenômeno. Vários tipos de não uniformidades podem causar o espalhamento tais como partículas, bolhas, gotículas, flutuações de densidade em fluidos, defeitos em sólidos cristalinos, superfície áspera, células em organismos, e fibra em roupas.

Estes fenômenos são considerados em cenários *indoor* e vários modelos de propagação são propostos levando em conta tais fenômenos.

### 5.1.2 Modelos de Perda por Atenuação

Informações sobre a perda por atenuação são essenciais na determinação do tamanho da área de cobertura para sistemas de comunicação de rádio e na escolha das localizações ótimas para antenas base. O ambiente de propagação é complicado e um modelo de perda por atenuação aceito universalmente ainda não está disponível. Existem quatro modelos de perda por atenuação distintos [23]:

**Modelo 1** - Este modelo segue uma lei do expoente inverso com a distância entre antenas; Quanto maior a complexidade do ambiente (denotada por  $n$ ) é, maior a atenuação do sinal. O valor de  $n$  considera atenuações maiores quando o sinal passa por paredes, tetos, chão ou outros obstáculos.

**Modelo 2** - neste modelo, a potência recebida segue a mesma lei do modelo 1. Entretanto, o expoente  $n$  muda com a distância. Um expoente dependente da distância que aumenta de 2 à 12 é relatado em [23]. Os valores maiores de  $n$  são devidos ao aumento no número de paredes e divisórias entre o transmissor e receptor quando a distância aumenta.

**Modelo 3** - Este modelo associa atenuação logarítmica com vários tipos de estrutura

entre transmissor e antenas do receptor. Somando estas atenuações individuais, a perda por atenuação total em decibel pode ser calculada.

**Modelo 4** - Este modelo associa a perda por atenuação por unidade de distância em decibels dentro de um ambiente.

Estes modelos podem ser determinísticos ou probabilísticos. Modelos determinísticos consideram a ótica geométrica para estimar a propagação. *Ray-tracing* é um de seus principais representantes [51]. Modelos probabilísticos aplicam métodos estatísticos para estimar a propagação. Uma análise com os mais importantes modelos de propagação *out-door* e *indoor* podem ser vistos em [51]. O modelo 1 é aplicado em todos os cenários avaliados nesta dissertação e é detalhado no Capítulo 6. Um estudo mais aprofundado sobre o canal *indoor* é detalhado em [50, 25, 16].

## 5.2 LANDMARC

A infra-estrutura utilizada pelo LANDMARC é composta por leitores RFID, etiquetas ativas RFID e um servidor que se comunica com os leitores e realiza cálculos de localização. Em sua infra-estrutura, existem etiquetas de referência cujas coordenadas reais são previamente conhecidas e etiquetas cujas coordenadas precisam ser estimadas. As etiquetas emitem *beacons* a cada 7,5 s. A infra-estrutura do LANDMARC é montada em uma área de interesse específica. Entretanto, o sistema não diferencia possíveis ambientes ou salas nesta área. A Tabela A.2 apresenta as variáveis utilizadas pelo LANDMARC.

Seja  $n$  o número de leitores RFID e  $m$  o número de etiquetas de referência detectáveis por estes leitores. Seja  $u$  a quantidade de etiquetas detectáveis pelos leitores e para as quais se deseja obter uma estimativa de localização. O valor de  $u$  não inclui as etiquetas de referência.

O vetor de nível do sinal de uma etiqueta  $j \in [1, u]$  para a qual se deseja obter uma estimativa de localização é definido por  $S(\vec{j}) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$ , onde  $S_i^j$  denota a força do sinal da etiqueta  $j$  recebido pelo leitor  $i \in (1, n)$ . O vetor de força do sinal de uma etiqueta de referência  $r \in (1, m)$  é definido por  $\theta(\vec{r}) = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$ , onde  $\theta_i^r$  denota a força do sinal da etiqueta de referência  $r$  recebido pelo leitor  $i \in [1, n]$ . Os vetores

**Tabela 5.1** Variáveis definidas pelo LANDMARC

Nome	Descrição	Domínio
$m$	Número de etiquetas de referência	$m > 0$
$n$	Número de leitores	$n > 0$
$u$	Número de etiquetas localizáveis	$u > 0$
$i$	Um leitor	$i \in [1, n]$
$r$	Uma Etiqueta de Referência	$r \in [1, m]$
$j$	Uma Etiqueta Localizável	$j \in [1, u]$
$k$	Número de etiq. de ref. vizinhas mais próximas de $j$	$k > 0$
$E_r^j$	Distância Euclidiana entre $j$ e $r$	$E_r^j \in \mathfrak{R}$
$\vec{E}(j)$	Vetor de Distância Euclidiana para $j$	$(E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$
$\vec{W}(j)$	Vetor de pesos para $k$ menores $E_r^j$	$w \in [1, j]$
$S_i^j$	Força do sinal de $j$ medida por $i$	$S_i^j \in \mathfrak{R}$
$\vec{S}(j)$	Vetor de Força do Sinal de $j$	$(S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$
$\theta_i^r$	Força do Sinal de $r$ medido por $i$	$\theta_i^r \in \mathfrak{R}$
$\vec{\theta}(r)$	Vetor da Força do Sinal de $r$	$(\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$

$\vec{S}(j)$  e  $\vec{\theta}(r)$  são armazenados no servidor do LANDMARC e seus valores são atualizados periodicamente sempre que novas estimativas de localização precisam ser obtidas.

Define-se

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^r - S_i^j)^2} \quad , \quad (5.1)$$

como sendo a distância Euclidiana, em nível de sinal, entre a etiqueta  $j \in [1, u]$  a ser localizada e a etiqueta de referência  $r \in [1, m]$ . Quanto menor for o valor de  $E_r^j$ , mais próxima a etiqueta de referência  $r$  estará da etiqueta  $j$  a ser localizada.

A obtenção da estimativa de localização ocorre em 3 fases. Na primeira fase, calcula-se  $E_r^j$  para cada etiqueta de referência  $r$  e a etiqueta  $j$  a ser localizada, obtendo-se o vetor  $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$ .

Na segunda fase, usa-se o algoritmo KNN [11], sendo o número  $k$  de etiquetas de referência vizinhas mais próximas da etiqueta  $j$  a ser localizada para a obtenção da estimativa de sua coordenada. O valor de  $k$  é um parâmetro fixo de projeto. Caso  $k = 1$ , a localização estimada será igual a localização da única etiqueta de referência existente. Caso  $k > 1$ , calculam-se pesos através da Equação 5.2 para os  $k$  menores  $E_r^j$ . Os pesos são definidos pelo vetor  $\vec{W}(j) = (W_1^j, W_2^j, \dots, W_k^j)$ , onde

$$W_i^j = \frac{1/(E_i^j)^2}{\sum_{c=1}^k (1/(E_c^j)^2)} \quad (5.2)$$

para  $i \in [1, k]$ .

Por fim, a estimativa de localização da etiqueta  $j$  é obtida através da Equação (5.3), ou seja, a estimativa é o somatório da multiplicação das coordenadas das  $k$  etiquetas de referência pelo seus respectivos pesos.

$$(x, y)^j = \sum_{c=1}^k W_c^j \times (x_c, y_c) \quad , \quad (5.3)$$

onde  $(x, y)^j$  representa a estimativa para a coordenada da etiqueta  $j$  e  $(x_c, y_c)$  representa a coordenada conhecida de uma etiqueta de referência  $c \in [1, k]$  dentre as  $k$  etiquetas de referência consideradas mais próximas da etiqueta  $j$ .

Define-se o erro ( $e$ ) de estimativa de localização como sendo a distância linear entre as coordenadas reais  $(x_0, y_0)$  da etiqueta  $j$  e sua coordenada estimada  $(x, y)$ , ou seja,

$$e = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (5.4)$$

O erro da estimativa é uma métrica utilizada como base para o cálculo da acurácia do sistema, sendo impossível de ser calculado automaticamente em aplicações reais. Desta forma, o erro serve apenas para se prever a acurácia do sistema. Note que a estimativa fornecida pelo LANDMARC é apenas uma coordenada e não o ambiente ou área em que possivelmente se encontra a etiqueta  $j$ . Para obter essa informação, é necessário verificar se a coordenada estimada está na região delimitada por um determinado ambiente ou cômodo.

### 5.2.1 Considerações sobre o LANDMARC

A acurácia do LANDMARC depende do número de leitores utilizado e do número  $k$  de etiquetas de referência mais próximas à etiqueta localizável. A acurácia do sistema também depende das influências na força de sinal captada pelos leitores. Essas influências podem ser geradas por fatores como o multi-percurso e a dinâmica no ambiente.

**Dinâmica no ambiente** - a inconstância da força do sinal de rádio-freqüência recebido por um receptor é um dos principais problemas para se utilizar tal sinal com o propósito de se obter estimativas de localização. A inconstância do sinal pode ocorrer por causa de diversos fatores tais como a introdução ou remoção de objetos no ambiente, a movimentação de pessoas e objetos ou ainda por causa da presença de materiais reflexivos. Desta forma, o efeito da presença de obstáculos deve ser levado em conta pelos sistemas de localização. Entretanto, os experimentos feitos com o LANDMARC levam em conta apenas cenários livres de obstáculos. Assim, o LANDMARC consegue calcular corretamente os quatro vizinhos mais próximos (considerando  $k = 4$ ) da etiqueta cuja coordenada precisa ser estimada.

**Multi-percurso e Número de leitores** - os sinais de rádio-freqüência são suscetíveis ao problema de multi-percurso. O aumento do número de leitores pode ajudar na melhoria da acurácia neste caso. Contudo, o aumento do número de leitores implica em um maior custo para a implantação do sistema. Em [40] foram feitas avaliações sobre o erro de localização em um cenário real com o uso de 3 e 4 leitores. O uso de 4 leitores produziu os melhores resultados. Contudo, sinaliza-se que o aumento do número de leitores gera um maior sobrecarga de processamento sem aumentar significativamente a acurácia do sistema.

**Número  $k$  de etiquetas de referência mais próximas** - definição do melhor valor para o parâmetro  $k$  é crucial para obtenção de uma boa estimativa de localização. Em avaliações de desempenho apresentadas em [40], verificou-se que o melhor desempenho foi obtido considerando-se  $k = 4$ . O erro médio de localização observado ficou próximo de 1 m com precisão de 50%. O erro máximo observado foi igual a 2 m.

### 5.3 SISTEMA DE AUXÍLIO À LOCALIZAÇÃO

O sistema de auxílio proposto herda a infra-estrutura assim como as estimativas das coordenadas que o LANDMARC fornece. Entretanto, o sistema compara as possíveis áreas ou cômodos existentes dentro do ambiente em que a infra-estrutura é montada e usa a informação de coordenada neste ambiente.

Duas estimativas são realizadas: A primeira através do algoritmo KNN do LANDMARC. A segunda estimativa utiliza o algoritmo proposto por esta dissertação e só é considerada pelo usuário quando o mesmo verifica que o mapeamento gerado com base na estimativa do LANDMARC está incorreto. Ou seja, o usuário pede uma segunda estimativa quando constata que a primeira estimativa não identificou corretamente a área ou cômodo em que o objeto procurado se encontra.

#### 5.3.1 Descrição do Algoritmo Proposto

Seja  $j$  a etiqueta a ser localizada e  $Q$  o ambiente *indoor* em que a infra-estrutura do sistema está montada. A subdivisão deste ambiente em áreas menores é representada por  $q$ . Seja  $t$  as etiquetas de referência inseridas em uma área  $q$ . O algoritmo proposto obtém, para cada área  $q$ , a média das distâncias Euclidianas entre a etiqueta  $j$  e as etiquetas de referência  $t$ , usando as forças dos sinais armazenados no vetor  $\vec{E}(j)$ .

Define-se

$$M_q^t = \frac{\sum_{i=1}^t (\theta_i^t - S_i^j)^2}{t} \quad , \quad (5.5)$$

como a média das distâncias Euclidianas entre  $j$  e  $t$  para uma área  $q$  qualquer.

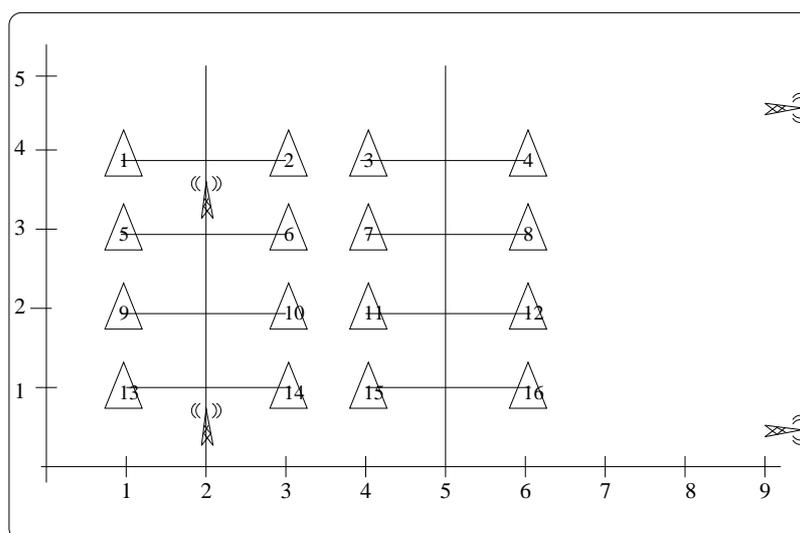
Calcula-se a média  $M_q^t$  para todas as áreas e os resultados são armazenados no vetor  $\vec{M}(q)$ . A função  $\min(\vec{M}(q))$  retorna a menor média obtida das áreas calculadas, representando a área em que possivelmente a etiqueta se encontra. Ou seja, a área que tiver a menor média é assumida como a segunda localização possível para a etiqueta  $j$ .

### 5.3.1.1 Cenários

Os cenários considerados por esta dissertação representam situações existentes em um ambiente *indoor*. Dentre os diversos cenários existentes, três foram escolhidos para avaliação: cenário sem obstáculos, com obstáculos e cenário com variação ou queda do nível de sinal esperado entre etiquetas.

### 5.3.1.2 Cenário 1 - Ambiente sem obstáculos

Neste primeiro cenário, a força do sinal das etiquetas de referência e da etiqueta localizável não sofrem influência da perda por atenuação em paredes ou obstáculos característicos de um ambiente *indoor*. Estas etiquetas possuem visada direta com os leitores. A Figura 5.1 representa o cenário sem a delimitação de paredes.

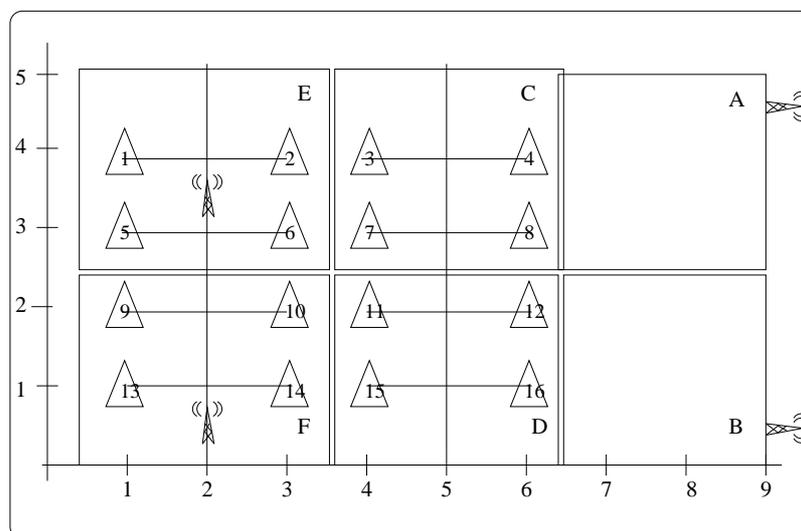


**Figura 5.1** Representação Gráfica de um Cenário Indoor sem obstáculos

### 5.3.1.3 Cenário 2 - Ambiente com obstáculos

O objetivo deste cenário é avaliar a influência da presença de paredes na área onde a infra-estrutura de localização é montada. A Figura 5.2 considera a mesma infra-estrutura considerada no primeiro cenário de simulação. A área na qual é montada a infra-estrutura

do sistema de localização é retangular e delimitada por paredes. Nesta área, existem 6 áreas retangulares ( $A, B, C, D, E$  e  $F$ ) e a separação entre elas é feita por paredes de gesso, com 0.5dB de perda por atenuação [62].



**Figura 5.2** Representação Gráfica de um Cenário Indoor com obstáculos

A área retangular é idêntica à área utilizada nas avaliações em [40] e a distribuição de leitores e etiquetas ao longo dela respeita um dos cenários de distribuição estudados no mesmo trabalho. Desta forma, a única diferença do nosso cenário em relação ao cenário apresentado em [40] são as divisões por áreas.

#### 5.3.1.4 Cenário 3 - Queda da força do sinal esperado

As etiquetas de referência são responsáveis em ajudar o sistema a calcular a localização de uma determinada etiqueta localizável. Em cenários *indoor*, podem existir situações em que haja uma variação ou queda da força do sinal esperado por uma ou mais etiquetas de referência mais próxima. Esta variação pode ser causada por vários fatores, tais como problemas no funcionamento das etiquetas, colocação de divisórias ou obstáculos entre o transmissor e receptor, interferências provenientes de outras fontes de transmissão de ondas eletromagnéticas ou até mesmo o fim da energia proveniente da bateria. Portanto, a queda da força do sinal esperado pelas etiquetas de referência vizinhas pode forçar o

sistema à calcular a localização utilizando outra etiqueta.

Dependendo da quantidade de etiquetas influenciadas por este fenômeno, o comportamento do cálculo pode-se tornar imprevisível e prejudicar o desempenho do sistema de localização.

#### 5.4 RESUMO DO CAPÍTULO

Este sistema oferece um novo modo de identificar a área onde uma etiqueta está inserida, levando em conta os erros de estimativa comuns no cálculo da localização. Estes erros são provenientes da inconstância típica de sinais RF, o que faz com que uma pessoa ou objeto possa ser localizado distante de sua posição real. Em aplicações em que o usuário deseja saber apenas se o objeto ou a pessoa está dentro de uma área delimitada, erros deste tipo podem implicar na identificação incorreta da área delimitada em que o objeto ou a pessoa se encontra.

O sistema é construído sobre o sistema de localização LANDMARC e fornece duas estimativas da área delimitada na qual a etiqueta se encontra. Na primeira estimativa, o cálculo é realizado pelo LANDMARC. Na segunda estimativa, realiza-se um mapeamento com base em informações providas por um novo algoritmo também proposto nesta dissertação.

Este algoritmo compara a média dos valores das distâncias Euclidianas entre as forças dos sinais RF das etiquetas de referência e a etiqueta a ser localizada. Utiliza-se a segunda estimativa sempre que a informação provida com base na execução do LANDMARC mostra-se errônea. Portanto, o usuário solicita a segunda estimativa quando verifica que na primeira estimativa o objeto procurado não se encontra na área correta.

Aplica-se o sistema junto com o algoritmo do LANDMARC, e efetua-se uma comparação entre ambas. Fenômenos comuns tais como difração, reflexão, espalhamento, absorção são considerados através do uso do coeficiente de complexidade  $n$ . Cenários são apresentados e discutidos.

# SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo, são avaliados e discutidos os resultados obtidos por esta dissertação. O objetivo principal é apresentar o desempenho do sistema proposto em três cenários considerados. Na Seção 6.1 é apresentado o modelo de propagação base usada por este trabalho. Na Seção 6.2, são discutidos os parâmetros empregados nesta simulação e obtidos de pesquisas recentes. Na Seção 6.3 é apresentada a metodologia utilizada para avaliar a proposta desta dissertação. Na Seção 6.4, o desempenho do LANDMARC e do sistema proposto são comparados e avaliados. Verifica-se um ganho de desempenho no sistema LANDMARC quando o sistema proposto é aplicado. Finalmente, estes resultados são discutidos na Seção 6.5.

### 6.1 MODELO BASE PARA PROPAGAÇÃO DE SINAIS

O modelo de propagação de sinais de rádio-freqüência em ambientes *indoor* utilizado nas simulações é baseado no modelo proposto em [53]. O modelo é empírico e considera diversos fatores de atenuação como apresentado pela Equação (6.1).

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + \sum_{q=1}^Q FAF(q) + \sum_{p=1}^P WAF(p) \quad , \quad (6.1)$$

onde  $PL$  (*Path Loss*) representa a perda por atenuação, em decibels, que uma onda eletromagnética sofre ao se propagar do transmissor até o receptor. A equação para o valor de  $PL$  depende de 4 termos: o primeiro termo,  $PL(d_0)$ , representa a perda por atenuação entre o transmissor e uma distância de referência que possui valor típico de 1 m em ambientes *indoor* [55]. O segundo termo leva em consideração a perda devido à distância física que separa o transmissor do receptor. Neste termo,  $\gamma$  representa o expoente da

perda por atenuação e indica o quão rápido a perda aumenta com a distância entre o transmissor e o receptor. O terceiro termo representa a soma de fatores de atenuação causada por andares (*Floor Attenuation Factors*). Esta soma depende das características de cada andar  $q \in [1, Q]$  existente entre o transmissor e o receptor no caminho do sinal. O quarto termo representa a soma de fatores de atenuação causada por paredes (*Wall Attenuation Factors*). Esta soma é dependente do material de cada parede  $p \in [1, P]$  existente entre o transmissor e o receptor no caminho do sinal.

Na Equação (6.1),  $PL(d_0)$ ,  $FAF(q)$  e  $WAF(p)$  podem ser calculados com base nas Equações (6.2), (6.3) e (6.4), respectivamente.

$$PL(1metro)dB = 20 \log_{10}(\lambda/4\pi(d_0))dB \quad , \quad (6.2)$$

onde  $\lambda$  é o comprimento da onda eletromagnética calculada.

$$FAF(q) = i \times F_i \quad , \quad (6.3)$$

onde  $i$  é o número de andares existentes entre o transmissor e o receptor. O termo  $F_i$  é o fator atenuação específico de cada andar que separa o transmissor do receptor.

$$WAF(p) = i \times Q_q \quad , \quad (6.4)$$

onde  $i$  é o número de paredes existentes entre o transmissor e o receptor. O termo  $Q_q$  é o fator atenuação específico do tipo de material de cada parede.

## 6.2 PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Os valores dos parâmetros utilizados pelos modelos de propagação são baseados nas medições científicas realizadas em [51, 55, 23]. Na tabela 6.1 são mostrados os parâmetros e seus respectivos valores.

A perda por atenuação de um sinal eletromagnético é dado em dB (decibels). A Equação 6.5 é utilizada para obter a força do sinal de uma etiqueta.

**Tabela 6.1** Variáveis definidas pela simulação

Nome	Descrição	Domínio
$\gamma$	Coefficiente de complexidade	2,4 ou 2,8
$Af$	Atenuação do sinal na parede	2,5 dB
$param$	Parâmetro da Simulação	0, 5, 10, 15, 20
$(x, y)$	Posição real da etiqueta	(5, 5, 2, 45)
$d_0$	Distância Referência	1 metro
$Sim$	Quantidade de Simulações	2000
$TP$	Potência de Transmissão	100mW

$$RP(mW) = SP \times (10^{PL(dB)/10}) \quad , \quad (6.5)$$

onde RP(*Received Power*) é a potência recebida por um receptor em *miliwatts* e TP (*Transmitted Power*) é a potência em *miliwatts* que um transmissor (etiquetas) emite.

Assumem-se as mesmas medições definidas em [51] para tipos de ambientes *indoor*: ambientes abertos ( ou *Suburban office building open plan* com  $\gamma = 2, 4$ ) e ambientes com paredes(ou *Suburban office building soft partition* com  $\gamma = 2, 8$ ). A frequência utilizada é de 915 MHz e em todos os cenários avaliados por esta dissertação considera-se a potência de 100 mW (20 dBm) [51].

As medições feitas nos respectivos trabalhos [43, 45, 13, 31, 35, 53, 6], usando a frequência de 900 MHz são estudadas e consideradas nesta dissertação. Alguns parâmetros adotados por este trabalho são baseados na informação capturada por outros trabalhos científicos: em [54], a frequência utilizada é de 914 MHz e medições onde o transmissor e receptor estão no mesmo piso,  $n = 2,76$  e variação de 12,9 dB. Neste trabalho, é importante notar que a variação fica em torno de 5,1 dB a 16,3 dB, dependendo do ambiente. Em [53], a frequência utilizada é de 910 MHz. Observa-se que dentro de determinados ambientes o valor do coeficiente de propagação fica entre 2 e 3 com uma variação do sinal entre 28 dB e 36 dB. Regiões com objetos metálicos contribuem para aumentar o  $\gamma$  e alcançar uma variação em torno de 40 dB. A variação média em áreas

abertas permanece em torno dos 25 dB. Em [66], o fator atenuação de paredes avaliado se encontra no intervalo de 0 à 5 dB (*plastic boarder*). Baseado nas medições acima, esta pesquisa realiza simulações utilizando as respectivas variações: 0,5,10,15 e 20 dB. O fator de atenuação das paredes considerada por esta dissertação é de 2,5 dB(*plastic Boarder*).

### 6.3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida por esta dissertação é descrita logo a seguir: implementa-se o algoritmo LANDMARC e o sistema proposto na ferramenta MATLAB. Nesta implementação, a frequência de 915 MHz e 3 modelos de propagação, representando os três cenários investigados na próxima seção são consideradas. São feitas 2000 simulações para cada variação de parâmetro, no total de 10000 simulações por cenário. Em cada 100 simulações, é calculada a média de acertos e erros do sistema, sendo a média total a eficiência deste sistema. O método de simulação utilizado nesta dissertação é a simulação de Monte Carlo. Este tipo de simulação é usado para modelar fenômenos probabilísticos cujas características não mudam com o tempo, portanto não sendo necessário o estabelecimento de um período de inicialização para a simulação. O LANDMARC é simulado várias vezes e calcula-se uma probabilidade de acertos da identificação da área para cada sistema avaliado. Os resultados são apresentados com um intervalo de confiança de 99,5%, sendo representado pela barra de erros nos gráficos dos cenários estudados.

### 6.4 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS

Os cenários citados abaixo representam situações típicas em ambientes *indoor*. O cenário do espaço livre representa um ambiente sem paredes, sendo comum em cenários onde um transmissor tem visada direta com seus receptores. O segundo cenário explora a influência das paredes nestes ambientes, sendo o tipo do material e a quantidade de paredes os parâmetros levados em conta. O terceiro e último cenário descreve o momento quando as etiquetas de referência começam a falhar ou ter a força do sinal reduzida e influenciar no desempenho do sistema. A acurácia do sistema analisa apenas a distância

entre a posição real e a estimada de uma etiqueta, não levando em conta a área em que esta etiqueta se encontra. Portanto, para aplicações que precisem obter informações de localização com granularidade esparsa tais como a área em que uma etiqueta se encontra, a eficiência do sistema é utilizada, representando a probabilidade de localizar a área correta em que tal etiqueta está inserida. Os resultados da simulação são apresentados abaixo e uma análise crítica sobre tais resultados são discutidas na próxima seção. O termo LANDMARC+ representa o sistema proposto por esta dissertação e é assumido nos gráficos de cada cenário.

### 6.4.1 Resultados do Cenário 1

O objetivo deste cenário é avaliar a eficiência do cálculo de localização em espaço aberto na área onde a infra-estrutura de localização é montada. A Figura 5.1 apresenta o ambiente considerado neste primeiro cenário de simulação.

A área na qual é montada a infra-estrutura do sistema de localização é retangular. Nesta área, existem 6 setores retangulares ( $A, B, C, D, E$  e  $F$ ). Assume-se que a separação entre os setores é feita por marcações no solo e que não existem obstáculos entre leitores e etiquetas.

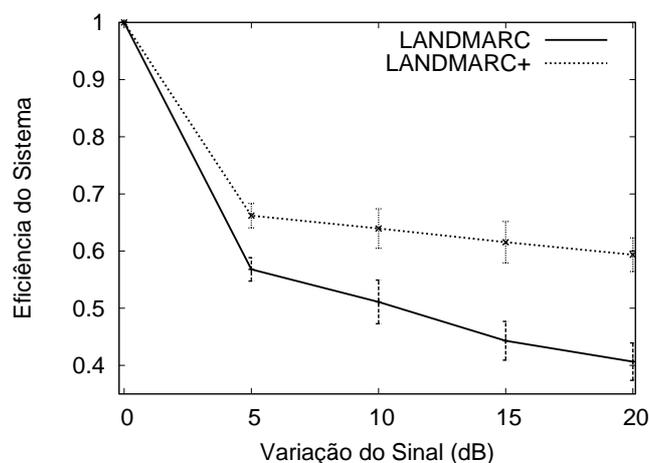
A Equação (6.6) apresenta o modelo de propagação utilizado no cenário estudado.

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10}(d) + \sigma \quad , \quad (6.6)$$

onde  $\gamma$  é o expoente da perda por atenuação,  $d_0$  é a distância de referência,  $d$  é a distância entre o leitor e a etiqueta e  $\sigma$  é uma variável aleatória com distribuição uniforme no intervalo  $[0, param]$  dB. A variável aleatória é utilizada para simular a inconstância do sinal de rádio-freqüência.

A Figura 6.1 representa a eficiência do sistema obtida considerando o aumento da perda por atenuação em espaço aberto.

Resultados da simulação em espaço aberto mostram a queda da eficiência do sistema quando a variação do sinal eletromagnético é aumentada. Quando a variação é nula, a eficiência do sistema é 100%, pois a etiqueta localizável será encontrada sempre na



**Figura 6.1** Resultados da simulação do Cenário 1

mesma área pela simulação (Os  $k$  vizinhos mais próximos serão sempre os mesmos). Entretanto, quando se aumenta a variação, as forças do sinal das  $k$  etiquetas de referência mais próximas da etiqueta localizável são influenciadas e o cálculo pode escolher outras etiquetas de referência mais próximas, aumentando a probabilidade de se estimar um objeto em outra área.

Apesar da eficiência de ambos algoritmos serem reduzidas quando a variação é aumentada, o sistema proposto consegue manter uma eficiência maior do que a do LANDMARC, servindo como um suporte na identificação do correto ambiente em que a etiqueta de localização está posicionada. Neste cenário, o ganho máximo obtido pelo algoritmo proposto é de 46%.

Deve-se a este resultado a aplicação do sistema proposto através do cálculo da média por áreas. São somadas as distâncias Euclidianas das etiquetas de referência encontradas em uma respectiva área, e comparadas com outras áreas. Aquela que tiver a menor soma, atribui-se a área em que possivelmente a etiqueta encontra-se. Como a variação é pequena e não existe a presença de obstáculos, a eficiência será alta. Mas a medida que a variação aumenta, os sinais tendem a ter maiores atenuações e com isso o cálculo da média também será comprometido, reduzindo a eficiência deste sistema. Em uma área, as etiquetas podem ter forças do sinal menores do que em outros ambientes, o que compromete a sua identificação pelo sistema.

### 6.4.2 Resultados do Cenário 2

O objetivo deste cenário é avaliar a influência da presença de paredes na área onde a infraestrutura de localização é montada. Considera-se a mesma representação apresentada na Figura 6.2. A diferença em relação ao cenário anterior é a transformação dos setores em salas retangulares. A área retangular é idêntica à área utilizada nas avaliações em [40] e a distribuição dos leitores e etiquetas ao longo dela respeita um dos cenários de distribuição estudados no mesmo trabalho. Desta forma, a única diferença para este trabalho são as divisões em salas.

O modelo de propagação representado pela Equação (6.7) foi adotado neste cenário.

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10}(d) + \sum_{y=1}^Y WAF(y) + \sigma \quad (6.7)$$

Assim como na Equação (6.1),  $\gamma$  é o expoente da perda por atenuação,  $d$  é a distância entre o leitor e a etiqueta,  $d_0$  é igual ao valor típico de 1 m e  $\sigma$  representa a variação do sinal eletromagnético, simulando a inconstância do sinal de rádio-freqüência e  $\sum_{p=1}^P WAF(p)$  é o fator perda por atenuação de paredes.

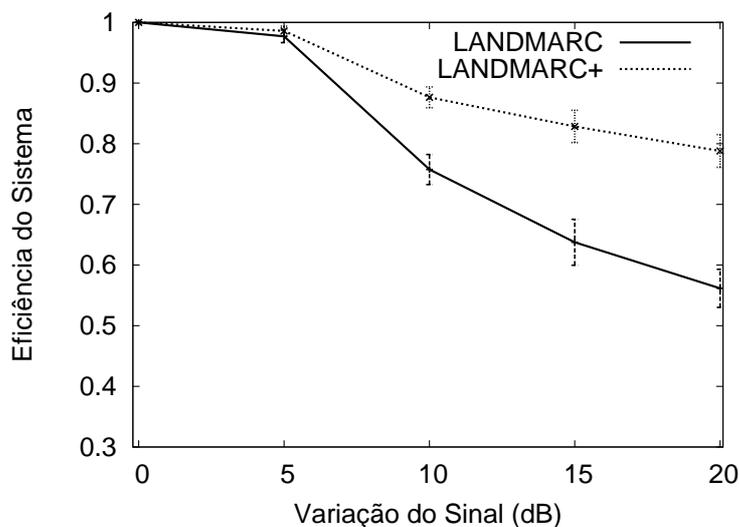
Em cenários reais, o sinal eletromagnético sofre atenuação quando ultrapassa uma determinada parede, alcançando o receptor com a força do sinal reduzida. Para representar esta atenuação em cenários de simulação, é necessário conhecer o número de paredes entre um transmissor e receptor e o fator de atenuação típico da natureza do material de tais paredes.

O fator atenuação de paredes é definido como:

$$WAF(y) = i \times L_y \quad , \quad (6.8)$$

onde  $WAF$  (Wall Attenuation Factor) representa a perda em decibels causada pela presença de paredes no ambiente,  $i$  representa o número de paredes entre o transmissor e o receptor e  $L_y$  representa o fator de atenuação característico do material da parede.

A Figura 6.2 representa a eficiência do sistema obtida considerando a influência da perda por atenuação em paredes.



**Figura 6.2** Resultados da simulação do Cenário 2

Resultados da simulação envolvendo este cenário indica a queda de eficiência de ambos os sistemas, considerando a influência da perda por atenuação em paredes. Entretanto, a eficiência do sistema é melhor do que a eficiência do sistema analisado no cenário 1, podendo levar a conclusões precipitadas.

A eficiência é definida pela escolha dos  $k$  vizinhos mais próximos. Ou seja, no espaço aberto, temos a escolha baseada simplesmente no cálculo das distâncias mais próximas das etiquetas de referência em relação a etiqueta localizável. No cenário 2, é efetuado um algoritmo que verifica se a etiqueta encontra-se em uma mesma área que a de um determinado leitor. Caso a condição seja verdadeira, o coeficiente de propagação aplicado é o de espaço aberto ( $\gamma = 2, 4$ ). Caso contrário, aplica-se o coeficiente de propagação por espaço obstruído ( $\gamma = 2, 8$ ). Com isso, o modelo de propagação define um peso maior as áreas que tem um leitor inserido, isto faz com que a simulação tenha que ter uma variação maior para que a eficiência possa ser reduzida.

É importante não confundir a eficiência do sistema com o erro médio das estimativas de localização. Na métrica do erro médio, o fator atenuação de paredes influencia no resultado final. Na métrica da eficiência do sistema, a alternância dos  $k$  vizinhos mais próximos é o que define o grau de eficiência do sistema. Apesar da necessidade de se ter uma variação maior para que a eficiência seja reduzida, o algoritmo proposto consegue

manter uma eficiência maior neste cenário.

Neste cenário, o ganho máximo obtido pelo algoritmo proposto é de 40,33%.

### 6.4.3 Resultados do Cenário 3

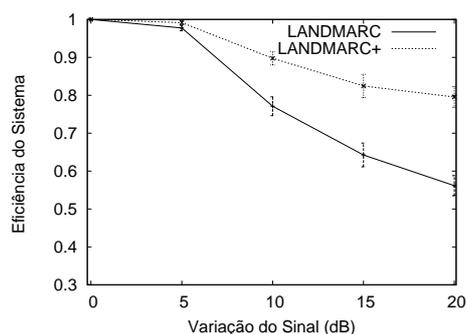
Este cenário considera que a etiqueta de referência fisicamente mais próxima da etiqueta a ser localizada emite um sinal menor do que o esperado para a sua posição. Assim, a qualidade de uma estimativa de localização será afetada pela queda da força deste sinal. Esta redução pode ocorrer quando sofrem algum tipo de interferência, por exemplo. Considera-se a mesma divisão em salas do cenário 2. O modelo de propagação representado pela Equação (6.1) foi adotado neste cenário. A Equação 6.9 representa o modelo de propagação utilizado para este cenário.

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10}(d) + \sum_{p=1}^P WAF(p) + e + \sigma \quad , \quad (6.9)$$

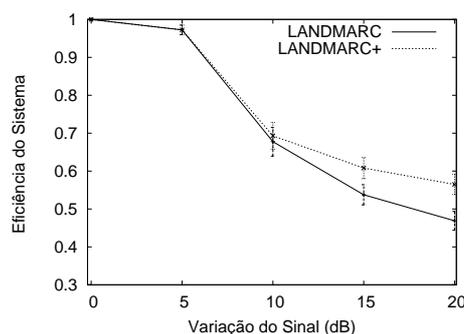
Assim como na Equação (6.1),  $\gamma$  é o expoente da perda por atenuação,  $d$  é a distância entre o leitor e a etiqueta,  $d_0$  é igual ao valor típico de 1 m,  $PL(d_0)$  igual a 0 e  $\sigma$  é uma variável aleatória com distribuição uniforme no intervalo  $[0, param]$  dB para simular a inconstância do sinal de rádio-frequência. A Equação (6.9) considera fatores de atenuação causada por paredes e introduz a constante de atenuação  $e$  para considerar a diminuição da força esperada do sinal emitida por uma etiqueta. A constante  $e$  é considerada nula para o sinal de todas as etiquetas exceto para as duas etiquetas de referência fisicamente mais próximas da etiqueta cuja posição precisa ser estimada.

As Figuras 6.3(a), 6.3(b), 6.3(c), 6.3(d) representam a variação na eficiência de ambos os sistemas quando ocorre a queda do nível do sinal de uma etiqueta de referência mais próxima, influenciando no cálculo da localização. Uma das causas deste fenômeno é o mal funcionamento da etiqueta, interferências ou a variação na força do sinal devido à pouca energia da bateria.

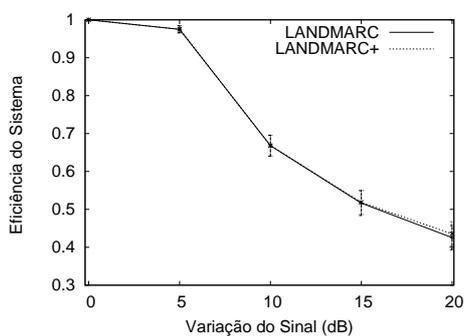
Considera-se a etiqueta de referência 13 e 15 como as etiquetas de referência mais próximas que sofrerão o erro devido à queda da força do sinal. No gráfico (a), a eficiência



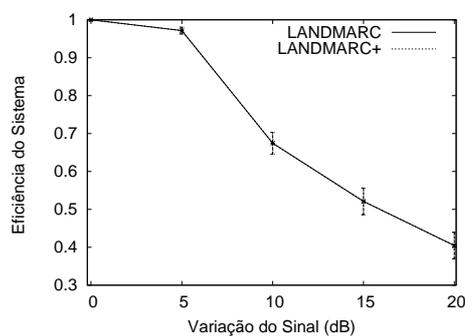
(a) Erro acrescido igual à 0dB.



(b) Erro acrescido igual à 5dB.



(c) Erro acrescido igual à 10dB.



(d) Erro acrescido igual à 15dB.

**Figura 6.3** Resultados da Simulação do Cenário 3

mantém o mesmo comportamento do cenário 2 quando a variação aumenta. Entretanto, quando se aumenta o erro nas etiquetas de referência 13 e 15, outras etiquetas são selecionadas para serem as  $k$  vizinhas mais próximas, reduzindo o desempenho do algoritmo proposto. Quando a variação chega aos 12dB, a eficiência do algoritmo proposto torna-se praticamente zero. Isto demonstra a dependência do correto funcionamento das etiquetas em uma determinada área, pois a média por áreas pode ser influenciada pelos fenômenos citados nesta seção, implicando na queda da eficiência do sistema proposto por esta dissertação.

## 6.5 CONSIDERAÇÕES

Os resultados discutidos neste capítulo indicam um ganho de desempenho na eficiência do sistema LANDMARC. A inconstância típica da força do sinal em ambientes *indoor*

causados por vários fatores citados anteriormente neste capítulo dificultam altas acurácias e precisão dos sistemas de localização. Todavia, o uso do auxílio proposto para este trabalho melhora a eficiência do sistema em até 46%.

Três cenários foram usados para provar esta hipótese. É importante mostrar que o desempenho do sistema está relacionado principalmente com o equilíbrio na quantidade de etiquetas de referência distribuídas em cada sala. A queda da força do sinal esperado ou falha de um ou mais etiquetas de referência compromete a eficiência do sistema. Embora o LANDMARC não seja projetado para evitar ou reduzir erros de identificação de uma determinada área, o sistema proposto oferece um modo para aumentar a probabilidade de encontrar um objeto em sua devida região ou cômodo.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um sistema para identificar em qual área de um ambiente *indoor* um objeto está localizado. Adicionalmente, foi desenvolvida uma simulação matemática com o intuito de demonstrar a eficiência deste sistema aplicado ao sistema de localização LANDMARC. Basicamente, para o funcionamento de tal sistema, são necessários os seguintes passos: (i) coleta das forças do sinal de cada etiqueta de referência e a etiqueta localizável capturada pelos leitores; (ii) Cálculo da distância Euclidiana entre etiquetas de referência e a etiqueta localizável; (iii) Cálculo da média dos valores das distâncias Euclidianas por cada área. (iv) Comparação da média obtida para cada área.

Embora tenha sido constatado ao longo desta dissertação que o sistema é avaliado utilizando um sistema de localização que emprega etiquetas de referência como o LANDMARC, o sistema proposto pode ser aplicado em outros domínios e cenários. Por exemplo, o sistema proposto pode ser empregado em cenários que usam emissores estacionários ou móveis para estimar a localização. Outro exemplo seria o uso do sistema proposto em outras tecnologias baseadas em rádio-frequência tais como Wi-fi, *bluetooth*, UWB e *Zig-bee*. Sistemas de localização que não usam emissores estacionários, mas usam uma fase de calibramento antes de estimar a localização, também podem aplicar o algoritmo utilizado pelo sistema proposto. Para isto, as amostras coletadas da fase de calibramento são separadas por áreas, e aplica-se o algoritmo KNN para estimar a distância Euclidiana entre as amostras coletadas e a força do sinal do objeto localizável. Por último, o sistema proposto pode ser usado por cenários *outdoor*. Trabalhos tais como [69], [7] relatam que é viável o uso de força de sinais recebidos para estimar a localização nestes ambientes.

## 7.1 CONTRIBUIÇÕES

Os achados atuais acrescentam ao corpo crescente da literatura uma maneira de lidar com a correta identificação de áreas quando uma aplicação sensível a localização não tem certeza onde o objeto localizável está posicionado. Os resultados desta investigação sugerem que é possível ter uma maior segurança sobre esta identificação, mesmo considerando a dinâmica dos sinais eletromagnéticos em ambientes *indoor* e erros comuns provenientes de técnicas e algoritmos de estimativa. O algoritmo do sistema proposto nesta dissertação pode ser aplicado em muitos outros sistemas de localização *indoor*, aumentando a eficiência das aplicações em identificar o correto ambiente de um determinado objeto.

Dentre as contribuições feitas por esta dissertação, são destacadas: uma taxonomia para a classificação de sistemas de localização, levando em conta as técnicas, formas de sinalização e características típicas encontradas nestes sistemas; o sistema proposto ajuda o usuário a automaticamente encontrar um objeto quando a informação provida pelo sistema de localização sobre a presença do objeto em determinada área ou cômodo é errônea; o sistema proposto aumenta a eficiência dos sistemas de localização por prover um sistema que aumente as chances de localizar a área de um objeto localizável. A estratégia utilizada consiste em comparar uma média de valores das distâncias entre etiquetas de referências e etiqueta a ser localizada por área ou cômodo, identificando a área mais provável em que a etiqueta esteja inserida; e o sistema proposto lida com a dinâmica de um ambiente *indoor* e outros erros que diminuem a acurácia da localização; A métrica de eficiência do sistema utilizada pode ser aplicada em sistemas que precisam obter a probabilidade de encontrar a verdadeira área ou cômodo em que uma etiqueta se encontra.

## 7.2 LIMITAÇÕES

Um número de importantes limitações precisam ser consideradas. Primeiro, a mais importante limitação conta no fato de que o número de etiquetas de referência em cada área

deve ser igualmente distribuídas. A ausência ou presença de  $n$  etiquetas de referência em um determinado ambiente compromete o desempenho do sistema e pode induzir a erros imprevisíveis. Este fato é avaliado no Capítulo 6 através do cenário 3. Neste cenário, verifica-se que a queda da força do sinal de duas etiquetas na mesma sala reduz a eficiência do sistema proposto. Como o sistema consiste em calcular uma média de valores, subtrair ou adicionar valores tendem a beneficiar outros ambientes. Entretanto, este trabalho não considera cenários com diferentes número de etiquetas de referência por áreas. Do mesmo modo, a simulação também tem algumas limitações: Considera-se apenas uma frequência (915 MHz) e não existem trabalhos diretamente relacionados para comparações.

### 7.3 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro, pretende-se melhorar o sistema proposto através da inserção de um mapa de intensidade dos sinais de rádio-frequência para auxiliar na estimativa da localização. A idéia é calibrar este sistema e obter um mapa de ondas RF, possibilitando o aumento da acurácia deste sistema. Além disso, pretende-se simular com diferentes parâmetros, tais como frequência, variação, e  $k$  vizinhos mais próximos. Outros modelos de propagação *indoor* serão considerados. O objetivo principal a ser levado em consideração é o comportamento deste sistema em outros cenários. Além disso, pretende-se verificar o desempenho em outras tecnologias de rádio-frequência, tais como 802.11 e *Bluetooth*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Location systems for ubiquitous computing*, IEEE Computer **34** (2001), no. 8, 57–66.
- [2] M.D. Addlesee, A. Jones, F. Livesey, and F. Samaria, *The ORL active floor*, Personal Communications **4** (1997), no. 5, 35–41.
- [3] RM Alkan, H. Karaman, and M. Sahin, *Gps, galileo and glonass sattelite navigation systems & gps modernization*, Proceedings of RAST (Miami, USA), June 2005, pp. 390–394.
- [4] P. Bahl and VN Padmanabhan, *Radar: an in-building rf-based user location and tracking system*, Proceedings of IEEE Infocom (Tel Aviv, Israel), vol. 2, March 2000, pp. 1001–1011.
- [5] S. Biaz, Y. Ji, and P. Agrawal, *Impact of sniffer deployment on indoor localization*, Proceedings of CollaborateCom (San Jose, USA), December 2004, pp. 1–10.
- [6] R. Bultitude, *Measurement, characterization and modeling of indoor 800/900 mhz radio channels for digital communications*, Communications Magazine **25** (1987), no. 6, 5–12.
- [7] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, *Gps-less low-cost outdoor localization for very small devices*, IEEE Personal Communications **7** (2000), no. 5, 28–34.
- [8] X. Chai and Q. Yang, *Reducing the calibration effort for probabilistic indoor location estimation*, IEEE Transactions on Mobile Computing (2007), 649–662.
- [9] S.S. Chawathe, V. Krishnamurthy, S. Ramachandran, and S. Sarma, *Managing rfid data*, Proceedings of VLDB (Toronto, Canada), August 2004, pp. 1189–1195.

- [10] T.Y. Chen, C.C. Chiu, and T.C. Tu, *Mixing and combining with aoa and toa for the enhanced accuracy of mobile location*, Proceedings of EPMCC (Glasgow, Scotland), April 2003, pp. 276–280.
- [11] T. Cover, *Estimation by the nearest neighbor rule*, Information Theory **14** (1968), no. 1, 50–55.
- [12] P. Deng and PZ Fan, *An aoa assisted toa positioning system*, Proceedings of ICCT (Beijing, China), vol. 2, August 2000, pp. 1501–1504.
- [13] DMJ Devasirvatham, C. Banerjee, RR Murray, DA Rappaport, and R.B. Bellcore, *Four-frequency radiowave propagation measurements of the indoorenvironment in a large metropolitan commercial building*, Proceedings of Globecom (1991), 1282–1286.
- [14] K. Finkenzeller, *Rfid handbook*, Wiley InterScience, 2003.
- [15] C. Floerkemeier and M. Lampe, *Rfid middleware design: addressing application requirements and rfid constraints*, Proceedings of sOc-EUSAI (Grenoble, France), October 2005, pp. 219–224.
- [16] R. Ganesh and K. Pahlavan, *Statistical characterisation of a partitioned indoor radio channel*, Proceedings of Communications, Speech and Vision **139** (1992), no. 5, 539–545.
- [17] S. Garfinkel and H. Holtzman, *Rfid: Applications, security, and privacy*, Addison Wesley, 2005.
- [18] IA Getting, *Perspective/navigation-the global positioning system*, IEEE Spectrum **30** (1993), no. 12, 36–38.
- [19] EPC Global, *Epc tm tag data standards*, 2004.
- [20] B. Glover and H. Bhatt, *Rfid essentials*, O’Reilly Media, 2006.

- [21] Y. Gwon, R. Jain, and T. Kawahara, *Robust indoor location estimation of stationary and mobile users*, Proceedings of Infocom (Hong Kong, China), vol. 2, March 2004, pp. 1032–1043.
- [22] D. Hanselman and B.C. Littlefield, *Mastering matlab 5: A comprehensive tutorial and reference*, Prentice Hall, 1997.
- [23] H. Hashemi, N.A.C. Ltd, and A. Calgary, *The indoor radio propagation channel*, Proceedings of the IEEE **81** (1993), no. 7, 943–968.
- [24] J. Hightower and G. Borriello, *Location sensing techniques*, Tech. report, Intel Research, 2001.
- [25] SJ Howard, K. Pahlavan, R. Co, and MA Marlboro, *Measurement and analysis of the indoor radio channel in the frequency domain*, Instrumentation and Measurement **39** (1990), no. 5, 751–755.
- [26] V.D. Hunt, A. Puglia, and M. Puglia, *Rfid: A guide to radio frequency identification*, Wiley-Interscience, 2007.
- [27] R. Jain, *The art of computer systems performance analysis*, John Wiley & Sons, 1991.
- [28] G. Jin, X. Lu, and M.S. Park, *An indoor localization mechanism using active rfid tag*, Proceedings of SUTC (Seoul, Korea), June 2006, pp. 40–43.
- [29] P. Krishnan, AS Krishnakumar, W.H. Ju, C. Mallows, and S. Ganu, *A system for lease: Location estimation assisted by stationary emitters for indoor rf wireless networks*, Proceedings of IEEE Infocom (Hong Kong), March 2004, pp. 1001–1011.
- [30] J. Krumm, S. Harris, B. Meyers, B. Brumitt, M. Hale, and S. Shafer, *Multi-camera multi-person tracking for easyliving*, Proceedings of Visual Surveillance (Dublin, Ireland), jul 2000, pp. 3–10.

- [31] J.F. LaFortune and M. Lecours, *Measurement and modeling of propagation losses in a building at 900mhz*, Vehicular Technology **39** (1990), no. 2, 101–108.
- [32] S. Lahiri, *Rfid sourcebook*, Prentice Hall, 2005.
- [33] A. Leick, *Glionass satellite surveying*, Journal of Surveying Engineering **124** (1998), no. 2, 91–99.
- [34] H. Lim, L. Kung, J. Hou, and H. Luo, *Zero-configuration, robust indoor localization: Theory and experimentation*, Proceedings of IEEE INFOCOM (Barcelona, Espanha), March 2006, pp. 1–12.
- [35] F. Lotse, J.E. Berg, and R. Bownds, *Indoor propagation measurements at 900 mhz*, Proceedings of VTC (Denver, USA), May 1992, pp. 629–632.
- [36] BL McNaughton, LL Chen, and EJ Markus, *Dead reckoning*, Journal of Cognitive Neuroscience **3** (1991), no. 2, 190–202.
- [37] P. Moore and P. Crossley, *Gps applications in power systems: Introduction to gps*, Power Engineering Journal **13** (1999), no. 1, 33–39.
- [38] A. Nalbandian, *Itu-r studies on spectrum management*, Tech. report, International Telecommunication Union, 1998.
- [39] A. Nasipuri and R. El Najjar, *Experimental evaluation of an angle based indoor localization system*, Proceedings of WiOpt (Boston, USA), April 2006, pp. 1–9.
- [40] L.M. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, and A.P. Patil, *Landmarc: Indoor location sensing using active rfid*, Proceedings of PerCom (Texas, USA), March 2003, pp. 407–415.
- [41] D. Niculescu and B. Nath, *Ad hoc positioning system (aps) using aoa*, Proceedings of INFOCOM (San Francisco, USA), vol. 3, March 2003, pp. 1734–1743.
- [42] R.J. Orr and G.D. Abowd, *The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking*, Proceedings of Human Factors in Computing Systems (Hague, Netherlands), April 2000, pp. 275–276.

- [43] K. Pahlavan, R. Ganesh, and T. Hotaling, *Multipath propagation measurements on manufacturing floors at 910mhz*, *Electronics Letters* **25** (1989), no. 3, 225–227.
- [44] S. Pandey and P. Agrawal, *A survey on localization techniques for wireless networks.*, *Journal of the Chinese Institute of Engineers* **29** (2006), no. 7, 1125–1148.
- [45] D. Pena, R. Feick, HD Hristov, and W. Grote, *Measurement and modeling of propagation losses in brick and concrete walls for the 900-mhz band*, *Antennas and Propagation* **51** (2003), no. 1, 31–39.
- [46] S. Polito, D. Biondo, A. Iera, M. Mattei, and A. Molinaro, *Performance evaluation of active rfid location systems based on rf power measures*, *Proceedings of PIMRC (Athens, Greece)*, September 2007, pp. 1–5.
- [47] N.B. Priyantha, *The cricket indoor location system*, Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2005.
- [48] N.B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, *The cricket location-support system*, *Proceedings of MobiCom (Boston, USA)*, August 2000, pp. 32–43.
- [49] T. Roos, P. Myllymäki, H. Tirri, P. Misikangas, and J. Sievänen, *A probabilistic approach to wlan user location estimation*, *International Journal of Wireless Information Networks* **9** (2002), no. 3, 155–164.
- [50] A. Saleh and R. Valenzuela, *A statistical model for indoor multipath propagation*, *Selected Areas in Communications* **5** (1987), no. 2, 128–137.
- [51] TK Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medouri, and M. Salazar-Palma, *A survey of various propagation models for mobile communication*, *Antennas and Propagation Magazine* **45** (2003), no. 3, 51–82.
- [52] M. Schneider, *Radio frequency identification (rfid) technology and its applications in the commercial construction industry*, Ph.D. thesis, University of Kentucky, 2003.

- [53] S.Y. Seidel and T.S. Rappaport, *900 mhz path loss measurements and prediction techniques for in-building communication system design*, Proceedings of VTC (1991), 613–618.
- [54] SY Seidel and TS Rappaport, *914 mhz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings*, Antennas and Propagation **40** (1992), no. 2, 207–217.
- [55] SY Seidel, TS Rappaport, MJ Feuerstein, KL Blackard, and L. Grindstaff, *The impact of surrounding buildings on propagation for wireless in-building personal communications system design*, Proceedings of VTC (Denver, USA), May 1992, pp. 814–818.
- [56] D.H. Shih, P.L. Sun, D.C. Yen, and S.M. Huang, *Taxonomy and survey of rfid anti-collision protocols*, Computer Communications **29** (2006), no. 11, 2150–2166.
- [57] NJ Thomas, DGM Cruickshank, and DI Laurenson, *Performance of a tdoa-aoa hybrid mobile location system*, Proceedings of 3G Mobile Communication Technologies (London, United Kingdom), March 2001, pp. 216–220.
- [58] C.K. Toh, *Ad hoc mobile wireless networks: Protocols and systems*, Prentice Hall, 2002.
- [59] S. Venkatraman and J. Caffery Jr, *Hybrid toa/aoa techniques for mobile location in non-line-of-sight environments*, Proceedings of WCNC (Atlanta, USA), vol. 1, March 2004, pp. 274–278.
- [60] R. Want, *An introduction to rfid technology*, IEEE Pervasive Computing (2006), 25–33.
- [61] R. Want, A. Hopper, V. Falcão, and J. Gibbons, *The active badge location system*, ACM Transactions on Information Systems **10** (1992), no. 1, 91–102.
- [62] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, *A new location technique for the active office*, Personal Communications **4** (1997), no. 5, 42–47.

- [63] A. Yilmaz, O. Javed, and M. Shah, *Object tracking: A survey*, ACM Computing Surveys **38** (2006), no. 4, 1–45.
- [64] M. Youssef and A. Agrawala, *The horus location determination system*, Wireless Networks **14** (2008), no. 3, 357–374.
- [65] V. Zeimpekis, G.M. Giaglis, and G. Lekakos, *A taxonomy of indoor and outdoor positioning techniques for mobile location services*, Tech. report, Athens University of Economics and Business, Department of Management Science & Technology, 2002.
- [66] YP Zhang and Y. Hwang, *Measurements of the characteristics of indoor penetration loss*, Proceedings of VTC (Stockholm, Sweden), June 1994, pp. 1741–1744.
- [67] J. Zhao, Y. Zhang, and M. Ye, *Research on the received signal strength indication location algorithm for rfid system*, Proceedings of ISCIT (2006), 881–885.
- [68] Y. Zhao, Y. Liu, and L.M. Ni, *Vire: Active rfid-based localization using virtual reference elimination*, Proceedings of ICCPP (Xian, China), September 2007, pp. 56–66.
- [69] J. Zhu and GD Durgin, *Indoor/outdoor location of cellular handsets based on received signal strength*, Proceedings of VTC (Stockholm, Sweden), vol. 1, June 2005, pp. 92–96.



## APÊNDICE A

# SIMULAÇÃO NO MATLAB

Este apêndice apresenta a metodologia usada para desenvolver o sistema proposto no *software* MATLAB. A simulação implementada por esta dissertação investiga o comportamento do algoritmo LANDMARC e do sistema proposto em cenários típicos encontrados em ambientes *indoor*. Para isto, modelos de propagação são implementados considerando parâmetros tais como frequência, coeficiente de complexidade e flutuação do sinal. Ambos algoritmos são implementados levando em conta o mesmo número de  $k$  etiquetas de referência vizinhas mais próximas e o mesmo número de simulações para cada cenário. A Seção A.1 apresenta uma síntese sobre o *software* MATLAB e seus principais componentes. A Seção A.2 apresenta uma completa descrição dos passos necessários para rodar a simulação e coletar os resultados. A criação de matrizes e variáveis, arquivos de saída, algoritmo LANDMARC, o sistema proposto e modelos de propagação são vistas nesta seção. A Seção A.3 apresenta o código fonte da simulação.

### A.1 MATLAB

MATLAB (matrix laboratory) [22] é uma linguagem de alta performance para computação matemática. Esta ferramenta consiste em 5 partes principais:

- A Linguagem MATLAB - Esta é uma linguagem de vetores de alto nível com declarações de fluxo de controle, funções, estrutura de dados, entrada/saída e programação orientada a objetos.
- O ambiente de trabalho do MATLAB - Inclui facilidades para gerenciar as variáveis em seu espaço de trabalho, importar e exportar dados. Também inclui ferramentas para desenvolvimento, gerenciamento, depuração, M-files e aplicações MATLAB.

- Gráficos - Inclui comandos de alto nível para visualização de dados bidimensional e tridimensional, processamento de imagem, animação e apresentação de gráficos. Também inclui comandos de baixo nível que permitam completamente customizar a aparência dos gráficos assim como construir GUI completas em suas aplicações MATLAB.
- Biblioteca de Funções Matemáticas - Esta é uma vasta coleção de algoritmos computacionais tendo funções elementares como soma, seno, cosseno e aritmética complexa, assim como as mais sofisticadas funções como inversa de matrix, funções Bessel e transformadas Fourier.
- A API MATLAB - Esta é uma biblioteca que permite escrever programas em C e Fortran e que interagem com o MATLAB.

MATLAB é um sistema interativo cujo o elemento de dados básico é um vetor que não requer dimensionamento. Isto permite resolver muitos problemas da computação matemática, especialmente aqueles com matriz e formulações de vetor, em uma fração de tempo que levaria a escrever um programa em uma linguagem não interativa escalar tais como C ou Fortran.

Integra computação, visualização e programação em um ambiente fácil de usar onde problemas e soluções são expressas em notação matemática familiar. Esta ferramenta pode ser usada em várias aplicações, tais como: Matemática e computação; Desenvolvimento de algoritmos; Modelagem, simulação e prototipação; análise de dados, exploração; Gráficos científicos e de engenharia; e desenvolvimento de aplicações.

MATLAB caracteriza uma família de soluções específicas de aplicação chamadas *toolboxes*. *Toolboxes* são coleções abrangentes de funções MATLAB (M-files) que estendem o ambiente para resolver classes particulares de problemas. Áreas na qual os *toolboxes* estão disponíveis incluem processamento de sinais, sistemas de controle, redes neurais, lógica *fuzzy*, *wavelets*, simulação, entre outros.

## A.2 SIMULAÇÃO MATLAB

Esta seção discute a simulação desenvolvida para avaliar o comportamento do algoritmo LAND-MARC e o sistema proposto em cenários *indoor*. Parâmetros, cenários e algoritmos são vistos em detalhes por esta seção.

### A.2.1 Parâmetros

Para implementar uma simulação que leve em conta os parâmetros mais relevantes coletados na literatura, vários parâmetros devem ser considerados. Os principais são: Número de simulações, número de vizinhos mais próximos, número de leitores, etiquetas de referência e etiquetas localizáveis.

**Tabela A.1** Parâmetros implementados no MATLAB

Nome	Descrição	Valor
<i>Simulation</i>	Número de simulações por cenário	2000
<i>KValue</i>	Número dos vizinhos mais próximos	4
<i>numReader</i>	Número de leitores	4
<i>NumRefTag</i>	Número de etiq. de referência	16
<i>NumTracking</i>	Número de etiquetas localizáveis	1

Outras variáveis são definidas como contadoras e são poderosas na execução dos laços assumidos pela simulação.

### A.2.2 Matrizes

As matrizes são importantes para armazenar informação sobre os cenários e os valores das forças dos sinais capturados pelos leitores. Além disso, valores sobre a operação da simulação e valores usados pelos modelos de propagação tais como a variação de um sinal eletromagnético também são consideradas. As matrizes principais desenvolvidas nesta implementação é declarada como segue:

### A.2.3 Modelos de Propagação

Três modelos de propagação são implementados nesta simulação: Modelo de propagação em espaço livre, modelo de atenuação de paredes e uma extensão do modelo de atenuação por paredes. Estes modelos são armazenados no arquivo "*propmodel.ml*". A função *propmodel* é chamada quando a simulação precisa calcular a força do sinal das etiquetas recebidas pelos leitores.

**Tabela A.2** Matrizes implementadas no MATLAB

Nome	Descrição	Valor
<i>ParamFS</i>	Variação do Sinal no primeiro cenário	[0, 5, 10, 15, 20]
<i>ParamObj</i>	Variação do Sinal no segundo cenário	[0, 5, 10, 15, 20]
<i>ParamOP</i>	Variação do Sinal no terceiro cenário	[0, 5, 10, 15, 20]
<i>FreqTable</i>	Frequências usadas na simulação	[915]
<i>TagCen</i>	Coordenadas das etiq. de referência	<i>matrix1</i>
<i>ReaderCen</i>	Coordenadas dos leitores	<i>matrix2</i>
<i>TrackCen</i>	Coordenadas das etiq. localizáveis	<i>matrix3</i>
<i>RSSITagReader</i>	Valores RSSI das etiq. referência	<i>exec.</i>
<i>DistRSSITrackTag</i>	Distância entre et. de ref. e etiqueta	<i>exec.</i>
<i>WeightNN</i>	Matriz de pesos	<i>exec.</i>
<i>ProbabilityTable</i>	Eficiência do sistema	<i>exec.</i>
<i>Media</i>	Média das amostras	<i>exec.</i>
<i>IntConf</i>	Intervalo de Confiança	<i>exec.</i>

#### A.2.4 Algoritmo LANDMARC

O Algoritmo LANDMARC é implementado como segue: Primeiramente, obtém-se a matriz com valores RSSI das etiquetas de referência e associa com a matriz dos valores RSSI da etiqueta localizável. Este cruzamento é armazenado em outra matriz, representando a matriz com a distância Euclidiana das forças dos sinais entre as etiquetas de referência e a etiqueta localizável. Segundo, usa-se esta nova matriz para identificar quais as etiquetas de referência estão mais próximas da etiqueta localizável. Para isto, ordena-se esta matriz e captura os  $k$  primeiros valores. Em terceiro, calculam-se os pesos das etiquetas de referência selecionadas. Por último, estima-se as coordenadas.

#### A.2.5 Algoritmo LANDMARC+

O Algoritmo LANDMARC é implementado como segue: Primeiramente, quatro variáveis armazenam a distância RSSI para cada ambiente. Depois, armazena-se estes valores em uma

matriz e estima em que área a etiqueta está localizada. Um algoritmo checa se um determinado ponto está em um determinado ambiente.

### A.2.6 Arquivos de Saída

A informação criada por esta simulação é enviada à arquivos externos para depois serem processadas pelo GNUPlot. Uma função é responsável por esta tarefa. A probabilidade é calculada para cada 100 amostras e no fim das simulações, calcula-se a média destas probabilidades e o intervalo de confiança, considerando o valor 20 em 2,861 [27].

## A.3 CÓDIGO FONTE

Esta seção apresenta o código fonte da simulação proposta por esta dissertação.

### A.3.1 Parâmetros da Simulação

```
Simulation      = 2000;
contModelProp   = 1;
contParam       = 1;
contFreq        = 1;
TotalModelProp  = 3;
KValue          = 4;
contAcertos     = 0;
contErros       = 0;
AcertosLandmarc = 0;
ErrosLandmarc   = 0;
acertoMethod1   = 0;
erroMethod1     = 0;
PartialAttempt1 = 0.0;
ErroAttempt1    = 0.0;
ParamFS         = [0 5 10 15 20];
ParamOP         = [0 5 10 15 20];
ParamObj        = [0 5 10 15 20];
```

```

FreqTable = [915];
NumReader      = 4;
NumRefTag      = 16;
NumTracking    = 1;
RightEnv       = '-';
LocEnv         = '-';
Method1        = '-';
sumWX          = 0;
sumWY          = 0;
sumW = 0.0;
X              = 0.0;
Y              = 0.0;
Error = 0;
Average1       = 0.0;
Average2       = 0.0;
Average3 = 0.0;
Average4       = 0.0;
MinPower       = 0.0;
contMinPower   = 0.0;
TagCen         = zeros(NumRefTag,4);
ReaderCen      = zeros(NumReader,4);
TrackCen       = zeros(NumTracking,4);
RSSITagReader  = zeros(NumRefTag,NumReader);
DistRSSITrackTag = zeros(NumRefTag,1);
RSSITrackReader= zeros(NumTracking,NumReader);
WeightNN       = zeros(1,KValue);
KRow           = zeros(KValue,1);
ProbAcertosErros = zeros(20,5);
Media          = zeros(1,5);
IntConf        = zeros(1,5);
[FreqXValue, FreqYValue] = size(FreqTable);
TrackCen      = [1 3.45 2.45 02];
TagCen        = [1 1 4 1;2 3 4 1;3 1 3 1;4 3 3 1;5 1 2 2;6 3 2 2;7 1 1
2;8 3 1 2;9 4 4 3;10 6 4 3;11 4 3 3;12 6 3 3;13 4 2 4;14 6 2 4;15 4
1 4;16 6 1 4];

```

```

ReaderCen    = [1 2 3.5 1; 2 2 0.5 2; 3 8 3.5 5; 4 8 1.5 6 ];
Environment  = [1 3.5 5 3.5 2.5 0 5 0 2.5 ; 2 3.5 2.5 3.5 0 0
2.5 0 0; 3 6.5 5 6.5 2.5 3.5 5 3.5 2.5 ; 4 6.5 2.5 6.5 0 3.5
2.5 3.5 0; 5 9 5 9 2.5 6.5 5 6.5 2.5 ; 6 9 2.5 9 0 6.5 2.5
6.5 0];

```

### A.3.2 Simulação

```

%=====Respectivo End no fim da simulação=====
while (contFreq <= FreqYValue)
    if (contFreq == 1)
        file1 = fopen('D:\Mestrado\Implementacao
RightLoc\900MHz.txt', 'wt');
    end

    if (contFreq == 2)
        file1 = fopen('D:\Mestrado\Implementacao
RightLoc\1800MHz.txt', 'wt');
    end

%=====Respectivo End no fim da simulação=====
while (contModelProp <= TotalModelProp)
    if (contModelProp == 1)
        MainParam = ParamFS;
    elseif (contModelProp == 2)
        MainParam = ParamOP;
    else
        MainParam = ParamObj;
    end

[ParamXValue, ParamYValue] = size(MainParam);

```

### A.3.3 Cálculo do RSSI

```

while (contParam <= ParamYValue)
  for cont = 1:Simulation
    for i = 1:NumRefTag
      for j = 1:NumReader
        Prop = (PropagationModel(EuclideanDistance(TagCen,ReaderCen,i,j),
          TagCen, ReaderCen, 0, i, j, contModelProp, FreqTable(1,contFreq),
          MainParam(1,contParam)));
        RSSITagReader(i,j) = Prop;
      end
    end
  for i = 1:NumTracking
    for j = 1:NumReader
      Prop = (PropagationModel(EuclideanDistance(TrackCen,ReaderCen,i,j),
        TrackCen, ReaderCen, 1, i, j, contModelProp, FreqTable(1,contFreq),
        MainParam(1,contParam)));
      RSSITrackReader(i,j) = Prop;
    end
  end
end

```

### A.3.4 Cálculo da Distância Euclidiana

```

for i = 1:NumRefTag
  DistRSSITrackTag(i,1) =
  RSSIEuclideanDistance(RSSITagReader, RSSITrackReader,i);

  if (TagCen(i,4) == 1)
    Average1 = Average1 + DistRSSITrackTag(i,1);
  elseif (TagCen(i,4) == 2)
    Average2 = Average2 + DistRSSITrackTag(i,1);
  elseif (TagCen(i,4) == 3)
    Average3 = Average3 + DistRSSITrackTag(i,1);
  elseif (TagCen(i,4) == 4)

```

```

    Average4 = Average4 + DistRSSITrackTag(i,1);
end
end

```

### A.3.5 Cálculo dos pesos

```

DistRSSISorted = sort(DistRSSITrackTag, 'ascend');
for k = 1:KValue
    sumW = sumW + (1 / ( DistRSSISorted(k,1))^2);
end

for contK = 1:KValue
    [KRow(contK,1), colK] = find(DistRSSITrackTag ==
    DistRSSISorted (contK,1));

    WeightNN(1, contK) = ( 1 / (DistRSSISorted(contK,1))^2 ) / (sumW);
    sumWX = sumWX + WeightNN(1, contK) * TagCen(KRow(contK,1), 2);
    sumWY = sumWY + WeightNN(1, contK) * TagCen(KRow(contK,1), 3);
end

X = X + sumWX;
Y = Y + sumWY;
sumWX = 0;
sumWY = 0;
sumW = 0;
KRow = zeros(KValue,1);

```

### A.3.6 Identificação do Ambiente

```

if (TrackCen(1,4) == 1)
    NumRightEnv = 1;
    RightEnv = 'A';

```

```

elseif (TrackCen(1,4) == 2)
    NumRightEnv = 2;
    RightEnv = 'B';
elseif (TrackCen(1,4) == 3)
    NumRightEnv = 3;
    RightEnv = 'C';
elseif (TrackCen(1,4) == 4)
    NumRightEnv = 4;
    RightEnv = 'D';
end

if (Point_Inside_Environment(X,Y,Environment,NumRightEnv) == 1)
    LocEnv = RightEnv;
else
    LocEnv = '-';
end

Error = sqrt( (X - TrackCen(1,1) )^2 + ( Y - TrackCen(1,2) )^2);
AverageEnv(1,1) = Average1;
AverageEnv(2,1) = Average2;
AverageEnv(3,1) = Average3;
AverageEnv(4,1) = Average4;

[i,n] = find(AverageEnv == min(AverageEnv));
if (i == 1) Method1 = 'A';
elseif (i == 2) Method1 = 'B';
elseif (i == 3) Method1 = 'C';
elseif (i == 4) Method1 = 'D';
else
    Method1 = '-';
end

```

### A.3.7 Estatística das Simulações

```

MinPower = min(min(RSSITagReader));

```

```

sort(RSSITagReader, 'ascend');
contMinPower = contMinPower + MinPower;
if (contMinPower < MinPower)
    MinPower = contMinPower;
    if (RightEnv == LocEnv)
        contAcertos = contAcertos + 1;
        AcertosLandmarc = AcertosLandmarc + contAcertos;
    else
        contErros = contErros + 1;
        ErrosLandmarc = ErrosLandmarc + contErros;
    if (Method1 == RightEnv)
        acertoMethod1 = acertoMethod1 + 1;
        PartialAttempt1 = PartialAttempt1 + acertoMethod1;
    else
        erroMethod1 = erroMethod1 + 1;
        ErroAttempt1 = ErroAttempt1 + erroMethod1;
    end
end

if ( cont == 100) || (cont == 200) || (cont == 300) || (cont == 400)
    || (cont == 500) || (cont == 600) || (cont == 700) || (cont == 800)
    || (cont == 900) || (cont == 1000) || (cont == 1100) || (cont == 1200)
    || (cont == 1300) || (cont == 1400) || (cont == 1500) || (cont == 1600)
    || (cont == 1700) || (cont == 1800) || (cont == 1900) || (cont == 2000)

q = (cont / 100);
ProbAcertosErros(q,1) = (contAcertos / 100);
ProbAcertosErros(q,2) = (contErros / 100);
ProbAcertosErros(q,3) = ( (contAcertos + acertoMethod1) / 100 );
ProbAcertosErros(q,4) = (erroMethod1 /100);
ProbAcertosErros(q,5) = (contMinPower / 100);
contAcertos = 0;
contErros = 0;
acertoMethod1 = 0;
erroMethod1 = 0;

```

```
    contMinPower      = 0.0;
    MinPower          = 0.0;
end
Average3 = 0.0; Average4 = 0.0; Average1 = 0.0; Average2 = 0.0;
X = 0.0; Y = 0.0;
contK = 0; sumWX = 0; sumWY = 0;
WeightNN = zeros(1,KValue);
end
Media = mean(ProbAcertosErros);
IntConf = 2.861 * sqrt(var(ProbAcertosErros) / 20);
```

### A.3.8 Arquivo

```
TraceFile(1, file1, num2str(MainParam(1,contParam), '%.2f '));
TraceFile(1, file1, num2str(Media(1,1), '%.4f '));
TraceFile(1, file1, num2str(IntConf(1,1), '%.4f '));
TraceFile(1, file1, num2str(Media(1,3), '%.4f '));
TraceFile(1, file1, num2str(IntConf(1,3), '%.4f '));
TraceFile(1, file1, num2str(Media(1,5), '%.4f '));
TraceFile(3, file1, ' ');
contParam = contParam + 1;
end
    contParam = 1;
    contModelProp = contModelProp + 1;
    end
fclose(file1);
contFreq = contFreq + 1;
contModelProp = 1;

end
```

### A.3.9 Funções utilizadas pela Simulação

```

function [res] = Baricenter(Mat, tipo)

if (tipo == 1)
    res = ((Mat(1,1) + Mat(2,1) + Mat(3,1)) / 3);
else
    res = ((Mat(1,2) + Mat(2,2) + Mat(3,2)) / 3);
end

%=====Point Inside Function=====

function [isCorrect] = Point_Inside_Environment(X,Y,Z,i) format
short;

if (i == 1)

%p1p2p
    x0 =Z(1,2);y0 = Z(1,3);x1 = Z(1,4);y1 = Z(1,5); x2 = X; y2 = Y;
    a1 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p2p3p
    x0 = Z(1,4); y0 = Z(1,5); x1 = Z(1,8); y1 = Z(1,9); x2 = X; y2 = Y;
    a2 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p3p4p
    x0 = Z(1,8); y0 = Z(1,9); x1 = Z(1,6); y1 = Z(1,7); x2 = X; y2 = Y;
    a3 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p4p1p
    x0 = Z(1,6); y0 = Z(1,7); x1 = Z(1,2); y1 = Z(1,3); x2 = X; y2 = Y;
    a4 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
end

if (i == 2)

%p1p2p
    x0 = Z(2,2); y0 = Z(2,3); x1 = Z(2,4); y1 = Z(2,5); x2 = X; y2 = Y;

```

```

    a1 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p2p3p
    x0 = Z(2,4); y0 = Z(2,5); x1 = Z(2,8); y1 = Z(2,9); x2 = X; y2 = Y;
    a2 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p3p4p
    x0 = Z(2,8); y0 = Z(2,9); x1 = Z(2,6); y1 = Z(2,7); x2 = X; y2 = Y;
    a3 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p4p1p
    x0 = Z(2,6); y0 = Z(2,7); x1 = Z(2,2); y1 = Z(2,3); x2 = X; y2 = Y;
    a4 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
end

if (i == 3)

%p1p2p
    x0 = Z(3,2); y0 = Z(3,3); x1 = Z(3,4); y1 = Z(3,5); x2 = X; y2 = Y;
    a1 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p2p3p
    x0 = Z(3,4); y0 = Z(3,5); x1 = Z(3,8); y1 = Z(3,9); x2 = X; y2 = Y;
    a2 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p3p4p
    x0 = Z(3,8); y0 = Z(3,9); x1 = Z(3,6); y1 = Z(3,7); x2 = X; y2 = Y;
    a3 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p4p1p
    x0 = Z(3,6); y0 = Z(3,7); x1 = Z(3,2); y1 = Z(3,3); x2 = X; y2 = Y;
    a4 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
end

if (i == 4)

%p1p2p
    x0 = Z(4,2); y0 = Z(4,3); x1 = Z(4,4); y1 = Z(4,5); x2 = X; y2 = Y;
    a1 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p2p3p
    x0 = Z(4,4); y0 = Z(4,5); x1 = Z(4,8); y1 = Z(4,9); x2 = X; y2 = Y;

```

```

    a2 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p3p4p
    x0 = Z(4,8); y0 = Z(4,9); x1 = Z(4,6); y1 = Z(4,7); x2 = X; y2 = Y;
    a3 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
%p4p1p
    x0 = Z(4,6); y0 = Z(4,7); x1 = Z(4,2); y1 = Z(4,3); x2 = X; y2 = Y;
    a4 =(0.5)*(x1 * y2 - y1 * x2 - x0 * y2 + y0 * x2 + x0 * y1 - y0 * x1);
end

if ((a1 > 0) && (a2 > 0) && (a3 > 0) && (a4 > 0)) || ((a1 < 0) &&
(a2 < 0) && (a3 < 0) && (a4 < 0))
    isCorrect = 1;
else
    isCorrect = 0;
end end

%=====Propagation Model=====

function [PL] = PropagationModel(d, tagcen, readercen, isTrack, i,
j, tipo, frequency, mainparam)

%Basic Parameters
%-----%
    RFSpeed      = 300;      d0          = 1;
    Nwall        = 0;
    Nfs          = 1.8;     Nobs        = 3.0;
    TransPower   = 100;     RecvPower  = 0.0;
    attLoss      = 0.0;     variation  = 0.0;

    Lambda       = (RFSpeed / frequency);
    PL0          = 20 * log10 ( Lambda / 4 * pi * d0);
    variation     = mainparam * rand(1,1);

if (frequency == 915)    Nfs = 2.4; Nobs = 2.8; Af = 2.5; end

```

```

if (frequency == 1900) Nfs = 2.6; Nobs = 3.8; Af = 2.5; end

% Tipo 1: Free Space
%-----%
if (tipo == 1)
    attLoss = PL0 + 10 * Nfs * log10(d) + variation;
    PL = (TransPower * (10^(attLoss / 10)));
end

% Tipo 2: WAF e Tipo 3: WAF + Erro
%-----%
if (tipo == 2) || (tipo == 3)

    if (isTrack == 1) i = 1;
    end

    if (j == 1) % Leitor 1: Ambiente 1

        if (tagcen(i,4) == 1)
            Nwall = 0; n = Nfs;
        end

        if (tagcen(i,4) == 2) || (tagcen(i,4) == 4)
            Nwall = 1; n = Nobs;
        end

        if (tagcen(i,4) == 3) || (tagcen(i,4) == 5)
            Nwall = 2; n = Nobs;
        end

        if (tagcen(i,4) == 6)
            Nwall = 3; n = Nobs;
        end
    end
end

```

```
%Af = 6;
end

if (j == 2)                                     %   Leitor 2: Ambiente 2

    if (tagcen(i,4) == 1) || (tagcen(i,4) == 4)
        Nwall    = 1;    n        = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 2)
        Nwall    = 0;    n        = Nfs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 3) || (tagcen(i,4) == 6)
        Nwall    = 2;    n        = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 5)
        Nwall    = 3;    n        = Nobs;
    end
end
%Af = 6;
end

if (j == 3)                                     %   Leitor 3: Ambiente 5

    if (tagcen(i,4) == 2)
        Nwall    = 3;    n        = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 1) || (tagcen(i,4) == 4)
        Nwall    = 2;    n        = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 3) || (tagcen(i,4) == 6)
```

```
        Nwall = 1;    n      = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 5)
        Nwall = 0;    n      = Nfs;
    end
%Af = 1;
end

if (j == 4)                                %   Leitor 4: Ambiente 6

    if (tagcen(i,4) == 1)
        Nwall = 3;    n      = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 2) || (tagcen(i,4) == 3)
        Nwall = 2;    n      = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 4) || (tagcen(i,4) == 5)
        Nwall = 1;    n      = Nobs;
    end

    if (tagcen(i,4) == 6)
        Nwall = 0;    n      = Nfs;
    end
%Af = 1;
end

if (tipo == 2)
    attLoss = PL0 + 10 * n * log10(d) + variation + Nwall * Af;

    PL      = (TransPower * (10^(attLoss / 10)));
end
```

```

    if (tipo == 3)

        if ( i == 13) || (i ==15)

            attLoss = PL0 + 10 * n * log10(d) + Nwall * Af + 0 + variation;
            PL      = (TransPower * (10^(attLoss / 10)));

        else

            attLoss = PL0 + 10 * n * log10(d) + Nwall * Af + variation;
            PL      = (TransPower * (10^(attLoss / 10)));

        end

    end

end

end

end

%=====Euclidean Distance Function=====
function [ED] = RSSIEuclideanDistance(X, Y, i)

ED = sqrt( (X(i,1) - Y(1,1) )^2 + ( X(i,2) - Y(1,2) )^2 + ( X(i,3)
- Y(1,3) )^2 + ( X(i,4) - Y(1,4) )^2);

end

%=====TraceFile Function=====
function [s] = TraceFile(tipo, file, str)

fprintf(file, '%s', str);
if (tipo < 2) || (tipo > 4)

```

```
        if (length(str) == 3)      fprintf(file , '%s', '      ');
        elseif (length(str) == 4)  fprintf(file , '%s', '      ');
        else                        fprintf(file , '%s', '      ');
        end
    end
end
if (tipo ~= 1)  fprintf(file , '\n');
end
end
```