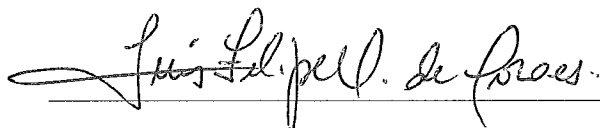


UM MECANISMO DE SUPORTE À CONECTIVIDADE DURANTE  
TRANSIÇÕES DE ESTAÇÕES MÓVEIS EM REDES 802.11

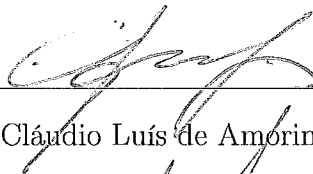
Luciano Renovato de Albuquerque

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS  
EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

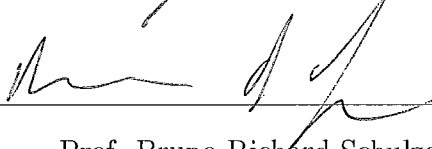
Aprovada por:



Prof. Luís Felipe Magalhães de Moraes, Ph. D.



Prof. Cláudio Luís de Amorim, Ph. D.



Prof. Bruno Richard Schulze, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2005

DE ALBUQUERQUE, LUCIANO RENOVATO

Um mecanismo de suporte à conectividade durante transições de estações móveis em redes 802.11 [Rio de Janeiro] 2005

XIII, 95 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Redes padrão IEEE 802.11
2. *Handover*
3. Predição de mobilidade
4. Pré-alocação de recursos

I. COPPE/UFRJ    II. Título (série)

# Agradecimentos

Agradeço à Deus, à minha mãe Neuza, à minha irmã Bianca e ao meu pai Antônio José.

À minha namorada Anna Flávia pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Luís Felipe, pela sua orientação, ensinamentos e apoio.

Aos professores Bruno Schulze e Cláudio Amorim por participarem da banca de avaliação.

À todos os colegas do Laboratório RAVEL. Em especial, sem desmerecimento dos demais, ao Airon Fonteles, Alexandre Mendes, Alexandre Pinaffi, Bruno Astuto, Carlos Alberto, Daniel Otero, Denilson Vedoveto, Demétrio Carrion e Paulo Ditarso, pelo apoio e troca de informações. Não poderia deixar de agradecer também ao grande amigo Ricardo Guerra, companheiro de muitas horas de trabalho.

Ao PESC/COPPE pelo suporte operacional e equipamentos utilizados.

À FAPERJ, pelo financiamento da pesquisa.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UM MECANISMO DE SUPORTE À CONECTIVIDADE DURANTE  
TRANSIÇÕES DE ESTAÇÕES MÓVEIS EM REDES 802.11

Luciano Renovato de Albuquerque

Março/2005

Orientador: Luís Felipe Magalhães de Moraes

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Este trabalho considera um ambiente sem fio onde pontos de acesso geograficamente distribuídos e ligados a uma rede cabeada são utilizados para prover conectividade a dispositivos móveis nas suas respectivas áreas de cobertura. Neste contexto, vários trabalhos têm sido realizados visando permitir que os dispositivos móveis transitem entre pontos de acesso sem perda de conexão com a rede. Prever o destino dos dispositivos móveis pode contribuir para tornar a passagem entre os pontos de acesso menos prejudicial para suas conexões. Este trabalho propõe um mecanismo de suporte a mobilidade baseado em histórico que utiliza um novo algoritmo de predição. Resultados envolvendo comparações com outros algoritmos da literatura demonstram que o uso do mecanismo proposto resulta numa maior chance de acerto na previsão das transições realizadas pelos dispositivos móveis. O mecanismo proposto foi implementado em um ambiente real, no qual o protocolo de autenticação SRP foi utilizado, tendo as chaves de sessão que gera, pré-alocadas de acordo com os resultados das predições realizadas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A MECHANISM TO SUPORT CONECTIVITY DURING HANDOVERS IN  
802.11 NETWORKS

Luciano Renovato de Albuquerque

March/2005

Advisor: Luís Felipe Magalhães de Moraes

Department: Systems Engineering and Computer Science

This work considers a wireless environment where geographically distributed access points connected to an infra-structured network are utilized to provide connectivity to mobile devices within their respective ranges. In this context, many works have been done with the objective to permit that a mobile device moves without losing its connection. The harmful effects of the handover between the access points can be minimized if the next destination of the mobile devices is known. This work proposes a mechanism to support the handover due to the mobility of the devices using a new prediction algorithm based on the device movement description. Results involving comparasions with other algorithms found in the literature show that using the proposal mechanims a higher chance of correct predictions about the handovers can be reached. The proposal was implemented in a real environment. The protocol of authentication SRP were utilized, and the session keys generated during the authentications were pre-allocated as the results of the predictions.

# Lista de Acrônimos

BSS :	<i>Basic Service Set;</i>
DS :	<i>Distribution System;</i>
EM :	<i>Estação Móvel;</i>
ESS :	<i>Extended Service Set;</i>
FHR :	<i>Frequent Handover Region;</i>
IAPP :	<i>Inter Access Point Protocol;</i>
IEEE :	<i>Institute of Eletrical and Eletronics Engineers;</i>
LLC :	<i>Logical Link Control;</i>
MAC :	<i>Medium Access Control;</i>
MMIG :	<i>Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Simples;</i>
NS :	<i>Network Simulator;</i>
PA :	<i>Ponto de Acesso;</i>
PCR :	<i>Prediction Confidence Ratio;</i>
RA :	<i>Roteador de Acesso;</i>
SS :	<i>Station Service;</i>
TCP :	<i>Transmission Control Protocol;</i>
VPN :	<i>Virtual Private Network;</i>
WEP :	<i>Wired Equivalency Privacy;</i>
WiPS :	<i>WLAN-Based Indoor Positioning System;</i>
WLAN :	<i>Wireless Local Area Network;</i>

# Conteúdo

<b>Resumo</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Acrônimos</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Redes Locais Sem Fio . . . . .	1
1.2 Modelos de mobilidade . . . . .	3
1.3 Motivação . . . . .	3
1.4 Objetivos e contribuições . . . . .	4
1.5 Organização do texto . . . . .	5
<b>2 Padrão IEEE 802.11</b>	<b>7</b>
2.1 Conjunto de serviços básicos . . . . .	7
2.2 Sistema de distribuição . . . . .	8

2.3	Serviços lógicos presentes na arquitetura do padrão IEEE 802.11 . . . . .	9
2.3.1	Serviços para controle de acesso e confidencialidade . . . . .	10
	Autenticação . . . . .	10
	Encerramento de autenticação . . . . .	11
	Privacidade . . . . .	11
2.3.2	Serviços para troca de dados entre estações . . . . .	12
	Associação . . . . .	12
	Desassociação . . . . .	13
	Reassociação . . . . .	13
	Distribuição . . . . .	14
	Integração . . . . .	14
2.3.3	Modos de operação . . . . .	15
	Rastreamento passivo . . . . .	15
	Rastreamento ativo . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Handover</b> . . . . .	<b>17</b>
3.1	Visão Geral . . . . .	17
3.2	Procedimentos na camada MAC . . . . .	19
3.3	Procedimentos na camada de Rede . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Técnicas de localização e predição</b> . . . . .	<b>23</b>
4.1	Visão Geral . . . . .	23
4.2	Rádio Frequência . . . . .	24



4.2.1	Sistema de posicionamento em ambientes fechados para redes locais sem fio - WiPS . . . . .	24
4.2.2	RADAR . . . . .	28
4.2.3	Rastreador para redes locais sem fio - <i>WLAN Tracker</i> . . . . .	29
4.3	Comparativo das propostas baseadas em rádio frequência . . . . .	32
4.4	Histórico de Movimentação . . . . .	34
4.4.1	Grafo de pontos de acesso vizinhos . . . . .	34
4.4.2	Região frequente de <i>Handover</i> . . . . .	37
4.4.3	Esquema de predição de mobilidade adaptativo . . . . .	39
4.5	Comparativo das propostas baseadas em histórico . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Proposta de mecanismo de suporte para <i>handover</i></b> . . . . .	<b>46</b>
5.1	Visão Geral . . . . .	46
5.2	Coleta dos dados . . . . .	48
5.3	Entidade Central . . . . .	50
5.3.1	Descrição da proposta de algoritmo de predição baseado em histórico . . . . .	52
5.4	Pré-alocação de recursos . . . . .	55
5.5	Detalhamento das mensagens . . . . .	56
5.5.1	Mensagem <i>LISTA-PA</i> . . . . .	56
5.5.2	Mensagem <i>LISTA-PA-ENC</i> . . . . .	58
5.5.3	Mensagem <i>LISTA-OK</i> . . . . .	58
5.5.4	Mensagem <i>Requisição</i> . . . . .	59
5.5.5	Mensagem <i>Resposta</i> . . . . .	59

<i>CONTEÚDO</i>	x
5.5.6 Mensagem <i>Pré-alocar</i> . . . . .	60
5.5.7 Mensagem <i>PRE-OK</i> . . . . .	62
5.6 Exemplo do funcionamento . . . . .	62
<b>6 Simulações</b>	<b>67</b>
6.1 Objetivo . . . . .	67
6.2 Cenário . . . . .	68
6.3 Detalhes sobre os modelos de mobilidade utilizados . . . . .	69
6.4 Métrica . . . . .	70
6.5 Resultados Obtidos . . . . .	70
<b>7 Implementação</b>	<b>78</b>
7.1 Descrição do ambiente . . . . .	79
7.1.1 Configurações necessárias . . . . .	81
7.2 Processo de autenticação . . . . .	81
7.3 Processo de reautenticação . . . . .	82
7.4 Descrição do teste realizado . . . . .	83
7.5 Análise da implementação . . . . .	84
7.5.1 Simulação . . . . .	85
<b>8 Conclusões e Perspectivas para Trabalhos Futuros</b>	<b>88</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>92</b>

# Lista de Figuras

2.1	Conjunto de serviços básicos. . . . .	8
2.2	Conjunto estendido de serviços. . . . .	9
4.1	Resultados nos quais a distância possui probabilidade de erro. Figura retirada de [1] . . . . .	26
4.2	Resultados nos quais a distância estimada não possui erro. Figura retirada de [1] . . . . .	27
4.3	Resultados do erro na estimativa da posição. Figura retirada de [2] .	30
4.4	Distribuição do erro versus o número de pontos de acesso. Figura retirada de [3] . . . . .	32
4.5	Critério de Localização. . . . .	40
4.6	Critério de Direção. . . . .	40
4.7	Critério de Segmento. . . . .	41
4.8	Regra de Bayes. . . . .	42
4.9	Desempenho dos algoritmos de predição. Figura retirada de [4] . . . .	43
5.1	EM coleta informação e transmite para a entidade central. . . . .	49
5.2	Formato da mensagem <i>LISTA-PA</i> . . . . .	57
5.3	Formato da mensagem <i>Requisição</i> . . . . .	60

5.4	Formato da mensagem <i>Resposta</i> . . . . .	61
5.5	Formato da mensagem <i>Pré-alocar</i> . . . . .	62
5.6	Exemplo de funcionamento. . . . .	63
5.7	Envio do resultado do rastreamento. . . . .	64
5.8	Envio de requisição de predição. . . . .	64
5.9	Pré-alocação de chave de sessão. . . . .	65
5.10	Interrupção das requisições de predição feitas por A sobre a EM. . . . .	65
5.11	Pré-alocação de chave de sessão em C e D. . . . .	66
6.1	Percentual de acerto utilizando o modelo Waypoint com 6 PAs. . . . .	71
6.2	Percentual de acerto utilizando o modelo MMIG com 6 PAs. . . . .	72
6.3	Percentual de acerto utilizando o modelo Smooth com 6 PAs. . . . .	73
6.4	Percentual de acerto utilizando o modelo Waypoint com 16 PAs. . . . .	75
6.5	Percentual de acerto utilizando o modelo MMIG com 16 PAs. . . . .	76
6.6	Percentual de acerto utilizando o modelo Smooth com 16 PAs. . . . .	76
7.1	Ambiente de rede sem fio utilizado. . . . .	80
7.2	Simulação com 2 PAs e 1 EM. . . . .	86

# Lista de Tabelas

4.1	Tabela comparativa das propostas baseadas em rádio frequência. . . . .	33
6.1	Percentual de predições corretas para 6 e 16 PAs. . . . .	75
7.1	Simulação X Cenário real. Percentual de predições corretas. . . . .	87

# Capítulo 1

## Introdução

A importância das redes sem fio têm aumentado nos últimos anos devido ao seu grande potencial para novas aplicações. As empresas e instituições de ensino têm procurado cada vez mais utilizar esta tecnologia, intensificando seu desenvolvimento. A crescente demanda exige o aprimoramento e superação das limitações inerentes às redes sem fio. Neste contexto estão as redes locais sem fio, ou *Wireless Local Area Networks* (WLAN), que são o foco de desenvolvimento deste trabalho.

### 1.1 Redes Locais Sem Fio

São redes que permitem a seus usuários, denominados estações móveis (EMs), permanecerem conectados à rede mesmo enquanto estão em movimento. O endereçamento destes usuários normalmente não permite a localização física, ao contrário do que acontece nas redes cabeadas seus endereços identificam apenas o destino lógico das mensagens.

Trata-se de redes infra-estruturadas, nas quais as EMs utilizam pontos fixos da rede, os pontos de acesso (PAs), para conectarem-se a rede sem fio. Normalmente, as redes sem fio funcionam como porta de entrada para redes locais cabeadas, nas quais estão presentes os serviços e aplicações que os usuários desejam acessar.

A principal característica deste tipo de rede é suportar a mobilidade de seus

usuários, o que traz uma série de benefícios, mas também desafios. Um destes desafios é o *handover*, o processo de transição de uma EM da área de alcance de um ponto de acesso para outro enquanto conectada a rede sem fio.

Neste trabalho são consideradas as redes sem fio que utilizam o padrão IEEE 802.11 [5]. A seguir algumas de suas principais características:

- **Meio físico não confinado**

Permite que qualquer dispositivo dentro do alcance da transmissão de uma EM tenha acesso aos dados sendo enviados, ou seja, é facilmente alvo de acessos indevidos. Sendo indispensável a utilização de alguma técnica de criptografia para garantir o acesso legítimo aos dados.

- **Largura de banda limitada**

Largura de banda pequena quando comparada a redes cabeadas.

- **Altas taxas de erro**

Com taxa de um bit errado a cada  $10^5$  ou  $10^6$ , enquanto a transmissão utilizando fibra ótica, por exemplo, tem taxa de erro de um bit a cada  $10^{12}$  ou  $10^{15}$ .

- **Mobilidade dos usuários**

As EMs podem se movimentar pela área de cobertura da rede sem fio livremente, permanecendo conectadas a rede sem fio. Porém, para garantir um nível adequado de qualidade de serviço durante a conexão alguns problemas devem ser superados, o principal deles é a manutenção da conexão da EM no decorrer de um processo de *handover*.

## 1.2 Modelos de mobilidade

A utilização de modelos de mobilidade é essencial para a avaliação de cenários de redes sem fio, como alternativa para cenários reais, os quais, normalmente são muito simples em função da quantidade de dispositivos móveis e demais recursos que se deseja avaliar.

Para avaliar uma rede sem fio levando em consideração a mobilidade de seus usuários, existem duas alternativas: registrar os passos de cada usuário da rede ou utilizar modelos de mobilidade.

Os modelos de mobilidades são utilizados para representar o comportamento da movimentação de um dispositivo em um cenário de simulação. Existem vários tipos diferentes de modelos de mobilidade que podem ser encontrados na literatura e utilizados para realizar avaliações em redes sem fio nas quais a movimentação dos dispositivos móveis seja um fator importante.

Registrar os passos de usuários de uma rede real permite realizar avaliações em função de padrões de movimentação reais. Entretanto, os cenários reais podem oferecer perfis de movimentação muito limitados em função das características do ambiente onde a rede foi implementada, como por exemplo, uma pequena quantidade de PAs e EMs.

## 1.3 Motivação

São muitas as possibilidades de aplicação que surgem com a utilização de uma rede sem fio, principalmente devido a liberdade que os usuários têm de se movimentar pela área de cobertura da rede permanecendo conectados a ela. Entretanto, suportar a movimentação destes usuários é uma tarefa complexa tanto para redes infra-estruturadas quanto para redes do tipo *Ad Hoc*.

As diferentes camadas da arquitetura de rede: Acesso ao Meio, Rede, Transporte, devem garantir a manutenção da conexão e assegurar um determinado nível de



qualidade de acordo com as aplicações sendo utilizadas. Diversas pesquisas vêm sendo feitas neste sentido.

## 1.4 Objetivos e contribuições

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre diferentes técnicas de localização e predição de estações móveis e baseado nesse estudo, propor um mecanismo de suporte à transições realizadas entre os pontos de acesso da rede sem fio.

Outros trabalhos, encontrados na literatura, realizados até o presente momento mostram a importância de se conhecer a localização dos membros de uma rede sem fio. A posição desses membros pode ser identificada em relação à área de cobertura dos pontos de acesso ou, de forma mais precisa, identificando a posição física dentro de um mapa, como realizado nos trabalhos [1, 2, 3].

Além de trabalhos que determinam a posição dos membros da rede sem fio, outro tipo de trabalho que traz novas possibilidades para aplicações, são os que realizam a predição de para qual ponto de acesso os membros da rede estão transitando, como realizado nos trabalhos [6, 7, 4].

No capítulo 4, alguns trabalhos relacionados a esses dois tipos são apresentados. Mesmo atingindo diferentes níveis de eficiência, podem ser observadas características comuns entre esses trabalhos e, principalmente, percebe-se a importância de suas aplicações para se obter melhores níveis de qualidade de serviço para os usuários das redes sem fio.

A proposta sendo apresentada neste trabalho consiste no desenvolvimento de um mecanismo de suporte ao *handover*, que realiza a predição da imobilidade dos usuários. As contribuições obtidas são as seguintes:

- *Desenvolvimento de um mecanismo que utiliza um novo algoritmo de predição baseado em histórico*

Um novo algoritmo de predição é proposto, o qual utiliza informações coleta-

das pelas EMs sobre os PAs dentro do seu alcance de transmissão. Além disso, é apresentado um mecanismo para obter as informações necessárias para realizar as predições e como o resultados dessas predições devem ser disponibilizados.

- *Resultados de avaliações realizadas através de simulações sobre algoritmos encontrados na literatura e o algoritmo proposto*

Para realizar as simulações, foi necessário implementar cada um dos algoritmos avaliados e adaptar a ferramenta Scengen [8]. Essa adaptação permitiu que PAs fossem introduzidos nos cenários das simulações.

- *Implementação do mecanismo proposto em um cenário real*

A proposta apresentada neste trabalho foi implementada em um ambiente real. A implementação exigiu um grande esforço de programação, envolvendo os ambientes Linux e OpenBSD, utilizando a linguagem C.

- *Alteração de um mecanismo de autenticação para que utilize as predições realizadas para pré-alocar chaves de sessão de forma eficiente*

Foi necessário alterarmos um mecanismo de autenticação nos PAs, para que as predições realizadas através de nossa proposta pudesse ser utilizada na pré-alocação de recursos, efetivamente.

## 1.5 Organização do texto

O texto apresenta-se organizado da seguinte forma:

No capítulo 2 são apresentados conceitos básicos e as principais funcionalidades do padrão IEEE 802.11 [5], pois são importantes para compreender como a transição de uma estação móvel entre pontos de acesso é suportada pelo padrão.

No capítulo 3 o processo de transição entre pontos de acesso, denominado *handover*, é caracterizado e são feitos comentários sobre a forma como esse processo afeta as camadas de acesso ao meio e de rede.

Propostas encontradas na literatura de técnicas de localização e predição são apresentadas e comparadas no capítulo 4.

No capítulo 5 é apresentado o mecanismo de suporte à conectividade durante transições de estações móveis em redes 802.11, proposto neste trabalho.

Os resultados das simulações, realizadas com o objetivo de avaliar as predições baseadas em histórico, são apresentados no capítulo 6.

A implementação do mecanismo proposto, em um ambiente real, é descrita no capítulo 7.

Finalmente, a conclusão e algumas perspectivas de trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 8.

# Capítulo 2

## Padrão IEEE 802.11

NESSE capítulo serão abordados os aspectos mais relevantes do padrão IEEE 802.11 [5] dentro do contexto no qual este trabalho está inserido. Os principais conceitos, serviços e funções definidos no padrão serão apresentados detalhadamente.

### 2.1 Conjunto de serviços básicos

O conjunto de serviços básicos, ou *Basic Service Set* (BSS), corresponde as funcionalidades que permitem a uma EM comunicar-se através da rede sem fio. Esta comunicação pode ocorrer diretamente entre as EMs ou através de um PA, considerando uma rede sem fio sem infra-estrutura (Ad Hoc) ou uma rede sem fio infra-estruturada, respectivamente.

Em uma rede do tipo Ad Hoc o conjunto de serviços básicos é chamado de BSS Independente. Como as EMs são capazes de comunicarem-se diretamente umas com as outras, a rede é formada automaticamente sem a necessidade de infra-estrutura prévia.

Pode-se relacionar o BSS a área de alcance de cada EM, pois, fora desta área estas não são capazes de se comunicar através da rede sem fio. Ou seja, não acessam o conjunto de serviços básicos da rede. A Figura 2.1 ilustra dois conjuntos de serviços básicos distintos.

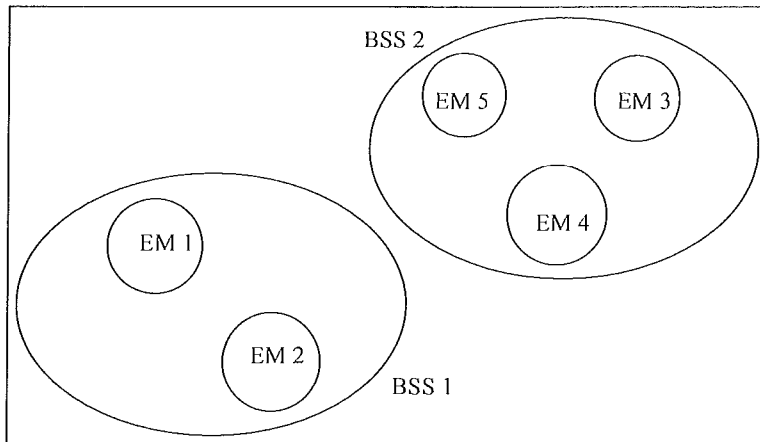


Figura 2.1: Conjunto de serviços básicos.

## 2.2 Sistema de distribuição

Para uma rede do tipo Ad Hoc, o conjunto de serviços básicos pode ser o suficiente para a plena utilização da rede sem fio por parte das EMs. No caso de uma rede infra-estruturada, é necessário um Sistema de Distribuição para a integração entre diversas áreas de coberturas dos PAs.

O Sistema de distribuição, ou *Distribution System (DS)*, permite que diversos BSSs sejam integrados para suportar a mobilidade de EMs em uma escala maior. Além de movimentarem-se dentro da área de cobertura de um único BSS, as EMs podem transitar entre áreas de diferentes BSS de forma transparente e sem perda da conexão.

Em uma rede sem fio infra-estruturada a área de cobertura do BSS corresponde ao alcance da transmissão do PA. Neste tipo de rede, as EMs comunicam-se somente através dos pontos de acesso. Os pontos de acesso são conceitualmente estações móveis com funcionalidades adicionais, provendo acesso para as demais EMs.

A integração de diversos BSS dá origem ao que o padrão define como Conjunto Estendido de Serviços, ou *Extended Service Set (ESS)*. Quando a EM se move dentro de um mesmo ESS, transitando entre diferentes BSSs, tudo ocorre de forma transparente para o Controle da Ligação Lógica (*Logical Link Control - LLC*). O uso dos ESSs permite a criação de redes sem fio com áreas de coberturas maiores, através

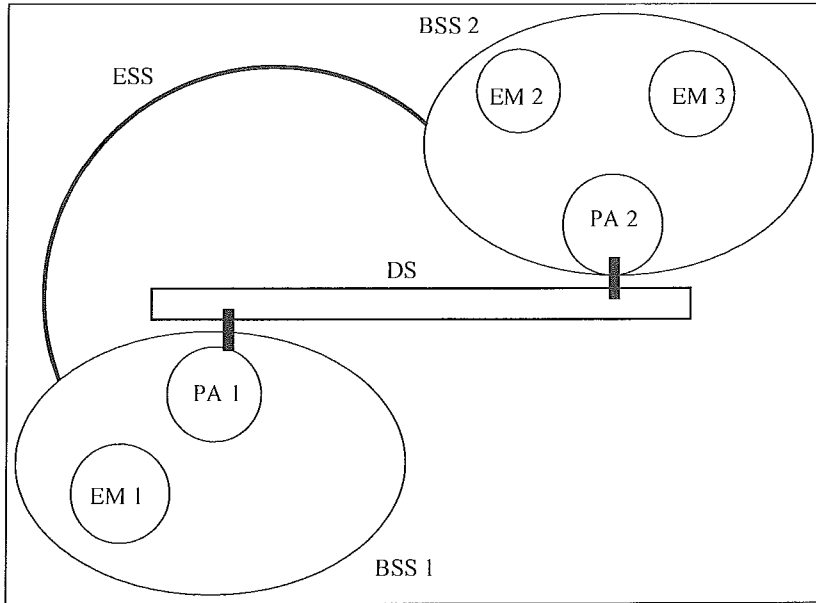


Figura 2.2: Conjunto estendido de serviços.

da integração de BSSs distantes fisicamente. A Figura 2.2 ilustra a existência de duas BSSs, a BSS 1 e a BSS 2, pertencentes a uma única ESS.

## 2.3 Serviços lógicos presentes na arquitetura do padrão IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 [5] não define detalhes da implementação de um DS, porém define os serviços que devem estar disponíveis para a comunicação entre os dispositivos da rede sem fio e a integração entre seus componentes.

Estes serviços podem ser divididos em dois grupos, o primeiro com os serviços oferecidos pelas estações, ou *Station Service* (SS), e o segundo com aqueles oferecidos pelo DS.

A seguir a lista de serviços definidos pelo padrão:

### Serviços das Estações

- Autenticação

- Encerramento de autenticação
- Privacidade
- Entrega de dados

### **Serviços do Sistema distribuído**

- Associação
- Desassociação
- Reassociação
- Distribuição
- Integração

### **2.3.1 Serviços para controle de acesso e confidencialidade**

Como as redes sem fio utilizam um meio físico não confinado para transmissão de dados, a utilização de técnicas para o controle de acesso e confidencialidade são indispensáveis. Os três serviços a seguir são definidos no padrão IEEE 802.11 [5] com estes objetivos.

#### **Autenticação**

Em uma rede cabeada a própria disposição física dos equipamento pode ser considerada o primeiro passo para controlar o acesso à rede, impedindo acessos não autorizados. Esse tipo de controle é menos eficaz no caso de uma rede sem fio, pois nem sempre é possível determinar os limites da área de cobertura precisamente, ou controlar esses limites quando os mesmo extrapolam a disposição física do ambiente onde a rede está sendo montada. Por exemplo, o sinal de uma rede sem fio sendo montada em um determinado escritório pode atingir uma área além do espaço deste escritório, ficando acessível fora dele.

O objetivo do serviço de autenticação é controlar o acesso à rede sem fio de forma semelhante ao encontrado em uma rede cabeada. Desta maneira, somente as EMs com permissão conseguem utilizar o sinal da rede sem fio. Como não é possível realizar o mesmo tipo de controle físico utilizado nas redes cabeadas, esse controle lógico é o primeiro obstáculo para impedir acessos indevidos. Este controle não impede que outras técnicas sejam utilizadas em camadas mais altas da arquitetura da rede, podendo coexistir sem problemas.

É possível utilizar a rede sem fio no modo chamado Sistema Aberto. Como o próprio nome sugere, neste modo qualquer EM pode participar da rede sem fio, não havendo nenhuma restrição nesta camada.

### **Encerramento de autenticação**

Este serviço é utilizado para finalizar uma autenticação que tenha sido estabelecida anteriormente. Qualquer uma das partes que realizou a autenticação pode finalizá-la. Por exemplo, quando uma EM está autenticada em um PA, ambos podem encerrar a autenticação.

Como a autenticação é um pré-requisito para a associação, ao finalizar a autenticação, a associação entre as partes envolvidas é desfeita.

### **Privacidade**

O fácil acesso à área de cobertura de uma rede sem fio permite que os dados sendo transmitidos através dos sinais de rádio sejam acessados indevidamente e, normalmente, de maneira imperceptível.

O padrão IEEE 802.11 [5] define este serviço para garantir a privacidade das informações trafegando na rede. Com ele, mesmo que o sinal da rede sem fio esteja acessível fora do perímetro planejado, aqueles que alcançarem o sinal não serão capazes de acessar a informação sendo transmitida, a não ser que façam parte de seu destino legítimo.



A privacidade é conseguida através da encriptação dos dados transmitidos. O padrão especifica um algoritmo que deveria teoricamente garantir um nível de privacidade semelhante ao encontrado nas redes cabeadas, este algoritmo é chamado *Wired Equivalent Privacy* (WEP). Mesmo não sendo aconselhado, existe a possibilidade de utilizar a rede sem fio sem o WEP, transmitindo todas as informações sem encriptação alguma.

Alguns problemas foram encontrados em relação a segurança real oferecida pelo algoritmo WEP [9, 10, 11]. Foram encontradas falhas que permitem a quebra da criptografia sendo utilizada, permitindo acesso indevido aos dados transmitidos.

### 2.3.2 Serviços para troca de dados entre estações

Estes serviços garantem que a entrega dos dados através do DS seja feita corretamente. Permitem conhecer em quais PAs determinadas EMs podem ser encontradas e identificar o momento em que ocorrem mudanças destes locais devido a movimentação das estações.

#### Associação

Antes de uma EM ser capaz de utilizar a rede sem fio, ela deve estar associada a um PA. Antes de associar-se, a EM deve apenas comprovar sua autorização de acesso através da autenticação, quando exigida.

A EM permanecerá associada a algum PA da rede durante todo o tempo em que estiver utilizando a rede sem fio. Este serviço permite a mobilidade da EM dentro da área de alcance de uma única BSS. Para suportar a transição entre diferentes BSS, é necessário um serviço a mais que será comentado a seguir.

É através da relação de associação entre os PAs e as EMs que o sistema de distribuição consegue realizar a entrega dos dados transitando na rede, sendo capaz de saber para onde eles devem ser encaminhados.

O padrão IEEE 802.11 [5] define 3 tipos diferentes de mobilidade das EMs dentro

da área da rede sem fio:

### *Sem Transição*

Neste caso, a EM se movimenta dentro da área de cobertura de um único PA. Este tipo de mobilidade é subdividido em outros dois tipos: estático e movimento local.

### *Transição entre BSSs*

Ocorre quando uma EM transita entre a área de cobertura de duas BSSs diferentes que pertençam a mesma ESS.

### *Transição entre ESSs*

Ocorre quando uma EM transita entre a área de cobertura de duas BSSs diferentes que pertençam a ESSs diferentes.

## **Desassociação**

Tanto os PAs quanto as EMs podem realizar a desassociação, quando isto acontece a outra parte da relação é comunicada sobre o término da associação.

A desassociação pode acontecer por diversos motivos, tais como: a EM deixar a área da rede sem fio, ou um PA que precise ser desligado para manutenção. Em ambos os casos, quem inicia a desassociação informa a outra parte para que não existam inconsistências dentro da rede sem fio. Como a associação deve existir para que a rede seja utilizada por uma EM, nenhuma mensagem será entregue com sucesso depois da desassociação.

## **Reassociação**

O serviço de associação definido pelo padrão permite o ingresso na rede sem fio e garante que as mensagens sejam entregues a seus destinos corretamente, porém apenas este serviço não garante o suporte à mobilidade das EMs.

Para permitir que uma EM se movimente por toda a área de cobertura de uma ESS, é preciso utilizar o serviço de reassociação, através do qual o DS é mantido informado a respeito das alterações das associações existentes.

Quando uma EM passa da área de cobertura de um PA para outro, ou seja, transita entre duas BSSs diferentes, é necessário mover sua associação do PA antigo para o novo, o que é feito através do serviço de reassociação.

### **Distribuição**

É o serviço utilizado sempre que uma mensagem deve ser transmitida entre duas EMs através de um DS. Com este serviço, o PA determina para onde uma determinada mensagem deve ser encaminhada para que chegue corretamente ao seu destino.

Por exemplo, quando uma estação móvel EM1, atualmente associada ao ponto de acesso PA1, deseja transmitir uma mensagem para a estação móvel EM2, associada ao ponto de acesso PA2, EM1 transmite sua mensagem para PA1, que deve decidir o caminho através do qual a mensagem deve seguir. Então, PA1 encaminha a mensagem para PA2, que por sua vez entrega a mensagem em seu destino EM2. A decisão dos PAs sobre qual o caminho em que a mensagem deve ser encaminhada depende do serviço de distribuição.

As informações necessárias para que o serviço de distribuição funcione corretamente são mantidas através dos outros 3 serviços: associação, reassociação e desassociação.

### **Integração**

As mensagens destinadas a membros que não pertencem a rede sem fio são encaminhadas através deste serviço. Tudo o que for necessário para tanto é responsabilidade do serviço de integração, por exemplo, a tradução do endereçamento utilizado entre as duas diferentes redes integradas.

É o serviço de distribuição que determina o caminho que uma mensagem deve percorrer, identificando a necessidade de utilização do serviço de integração.

### 2.3.3 Modos de operação

As EMs podem obter informações a respeito dos PAs dentro da rede sem fio de duas maneiras diferentes, segundo o padrão IEEE 802.11 [5]: passivamente ou ativamente. Estas informações são necessárias para que as EM encontrem o PA ao qual desejam se associar.

#### Rastreamento passivo

Neste modo de operação, a EM espera por pacotes transmitidos pelos PA periodicamente, sem a necessidade de realizar uma requisição. Através destes pacotes, a EM identifica o PA e em qual ESS ele está operando.

Por não requisitar as informações diretamente, o rastreamento passivo permite que a EM obtenha as informações sem ser percebida. A EM permanece escutando cada canal por um tempo máximo predeterminado.

#### Rastreamento ativo

Quando uma EM realizar este tipo de rastreamento, pacotes requisitando informações sobre PAs são enviados para a rede sem fio. Estes pacotes podem ser endereçados à um ESS específico ou para todos os que estiverem no alcance, através de *broadcast*.

Todos os PAs que receberem o pacote de requisição endereçado ao ESS que pertencem respondem diretamente à EM onde o pacote teve origem. Caso o pacote seja do tipo *broadcast*, todos os PAs, independente de seus ESSs, respondem à requisição. Este modo de operação não permite que a EM fique oculta durante o rastreamento.

### 2.3 Serviços lógicos presentes na arquitetura do padrão IEEE 802.11 16

A seguir os procedimentos executados em cada canal durante o rastreamento ativo:

1. Aguarda até que o tempo limite de requisição expire, antes de iniciar a nova requisição, ou então que a camada física solicite uma interrupção.
  2. Verifica se pode transmitir através de procedimentos estabelecidos pelo próprio padrão.
  3. Envia pacote de requisição.
  4. Reinicia o contador de tempo limite de requisição.
  5. Caso o tempo limite de requisição alcance um valor mínimo predeterminado de escuta em um canal e nenhuma resposta seja recebida, o rastreamento deve passar para o próximo canal. Caso o tempo limite de requisição alcance um valor máximo predeterminado, todas as respostas já obtidas devem ser processadas.
  6. Rastrear o próximo canal.
- Tempo limite de requisição (*ProbeDelay*): tempo, em micro segundos; que deve ser aguardado antes que um pacote de requisição seja enviado durante o rastreamento ativo.

# Capítulo 3

## Handover

N O capítulo anterior foram descritas as principais funcionalidades do padrão IEEE 802.11, dentro do contexto desse trabalho. As funções necessárias para suportar os diferentes tipos de mobilidade das estações móveis foram comentadas. Nesse capítulo serão apresentados os conceitos que envolvem o processo de *handover* e como a transição das EMs entre pontos de acesso afeta as configurações das camadas de acesso ao meio e de rede.

### 3.1 Visão Geral

Dentro do contexto de redes sem fio infra-estruturadas, a mobilidade dos usuários tem como principal consequência o processo de *handover*, também chamado de *handoff*.

Um *handover* ocorre quando uma EM realiza uma transição entre dois pontos de acesso enquanto está conectada à rede sem fio. Não é sempre que a movimentação das EM implica em um processo de *handover*, é possível que a movimentação ocorra dentro da área de cobertura de um único PA.

De acordo com os PAs envolvidos no processo de *handover*, diferentes camadas da arquitetura de rede podem ser afetadas. Quando o *handover* ocorre entre PAs de uma mesma sub-rede, as alterações ficam restritas à camada MAC, sendo supor-

tadas pelos serviços definidos no padrão IEEE 802.11 [5]: associação, reassociação e desassociação. Neste caso, a EM móvel precisa basicamente alterar o endereço do PA ao qual está associada, e os PAs envolvidos no *handover* devem realizar a reassociação, ou seja, mover o local da associação atual da EM do antigo PA para o novo.

Quando o *handover* ocorre entre PAs que pertencem a sub-redes diferentes, são necessárias alterações em configurações da camada de Rede. Além do suporte dado pela camada MAC, algum mecanismo na camada de Rede deve realizar a atualização das informações necessárias para a manutenção da conexão da EM. Um exemplo de mecanismo com este objetivo é o IP móvel [12].

Tipos de mobilidade de acordo com as camadas envolvidas no processo:

- *Micro-mobilidade*

Ocorre dentro de uma mesma sub-rede, afeta apenas a camada MAC.

- *Macro-mobilidade*

Ocorre entre sub-redes diferentes envolvendo grandes áreas, afeta as camadas MAC e Rede.

O tempo gasto pelo mecanismo de suporte ao processo de *handover*, para a manutenção da conexão das EMs, pode ser visto como um dos principais fatores que afetam a qualidade do serviço oferecido aos usuários da rede sem fio.

Durante o processo de *handover* pode ocorrer a perda de dados, pois a EM não pode ser contactada nesse período, até que sua conexão seja restabelecida completamente. Restabelecer a conexão no menor tempo possível, é o objetivo de diversos mecanismos propostos na literatura, como pode ser visto em [13, 14, 15, 16], nos quais os mecanismos atuam na camada de Rede.

Mesmo com tempos mais baixos de duração para o processo de *handover*, a perda de dados pode ser inevitável se outros mecanismos não forem utilizados. Em

[17], os dados que não poderiam alcançar a EM móvel são armazenados durante este período e posteriormente transmitidos para a EM. A utilização de mecanismos como estes não garante menores retardos na conexão, garante apenas a diminuição da quantidade de informação perdida.

## 3.2 Procedimentos na camada MAC

Nessa sessão, estão descritos os procedimentos envolvidos no processo de *handover* na camada MAC de uma rede sem fio padrão IEEE 802.11 [5].

Quando a EM deixa a área de alcance de seu antigo PA e entra na área de um novo PA, sua conexão física com a rede sem fio é alterada. Os PAs envolvidos no processo devem atualizar a informação sobre a associação da EM na rede e transferir outras informações necessárias para o restabelecimento da conexão. Essas informações são normalmente relativas a permissões de acesso da EM e podem ser trocadas entre os PAs através de protocolos proprietários ou do IAPP (*Inter Access Point Protocol*) [18].

Quando a qualidade do sinal da conexão entre uma EM e seu PA atual baixa, até um determinado patamar, a EM inicia a busca por outros PAs. Esta busca é feita através de funções de rastreamento que podem ser de dois tipos: passivo ou ativo. O resultado do rastreamento permite que a EM selecione o PA com a melhor qualidade de sinal dentre aqueles encontrados na sua área de alcance.

O rastreamento e seleção de um novo PA é apenas a primeira etapa do processo de *handover*. Após estes passos, a EM deve realizar sua reautenticação com o novo PA, que inclui a autenticação da EM e a troca do seu conjunto de informações, chamado de contexto, entre os pontos de acesso.

Em [19, 20] os autores mostram detalhadamente a sequência de troca de mensagens entre os pontos de acesso e estações envolvidas no processo.



Etapas do processo de *handover*:

1. Descoberta
  - a) Rastreamento passivo ou ativo
2. Reautenticação
  - a) Autenticação
  - b) Reassociação

Cada uma das etapas acima corresponde a um tempo de retardo sofrido pela conexão da EM.

- **Tempo de retardo devido ao rastreamento**

Corresponde ao tempo gasto para que a EM realize o rastreamento dos pontos de acesso, observando todos os canais da rede sem fio.

- **Tempo de retardo devido a autenticação**

Tempo gasto para realizar a autenticação com o novo ponto de acesso. Conforme definido pelo padrão IEEE 802.11 [5], formas diferentes de autenticação podem ser utilizadas, assim sendo, a quantidade de mensagens trocadas nesta etapa pode variar, conseqüentemente, influenciando o retardo.

- **Tempo de retardo devido a reassociação**

Diferentemente da associação, em que são trocadas mensagens apenas entre a EM e seu PA atual, durante a reassociação são trocadas mensagens entre o antigo PA e o novo PA. Desta maneira, o contexto da EM passa para o novo PA, assim como sua associação com a rede. A reassociação ocorre somente após uma autenticação bem sucedida.

### 3.3 Procedimentos na camada de Rede

Na camada de rede, o tempo gasto pelo mecanismo de suporte ao processo de *handover* para realizar a manutenção da conexão dos usuário da rede sem fio, pode ser ainda maior do que o tempo gasto na camada MAC.

Para entrar em detalhes sobre os procedimentos realizados na camada de Rede é necessário considerar as seguintes definições [21, 22]:

- **Ponto de acesso (PA)**

É um dispositivo que trabalha na camada MAC através do qual uma EM conecta-se a rede sem fio.

- **Roteador de acesso (RA)**

É o dispositivo responsável por oferecer funcionalidades da camada de Rede para as EM, estas funcionalidades são acessadas através dos pontos de acesso que se conectam ao RA.

É comum que as duas entidades definidas acima, PA e RA, estejam implementadas fisicamente em um único dispositivo, porém a definição de cada um separadamente permite uma melhor compreensão das implicações do processo de *handover* sobre as conexões da rede sem fio.

Dentro deste contexto, para que uma EM utilize a rede para transmitir seus dados, ela deve estar associada a um ponto de acesso na camada MAC e conhecer o endereço IP de um RA o qual possa utilizar como rota para encaminhar seus dados.

Quando ocorre o *handover*, as seguintes informações devem ser atualizadas na camada de Rede:

- Endereço IP do roteador de acesso sendo usado pela EM.
- Endereço IP da própria EM.

Entretanto, estas informações são alteradas somente nos casos em que a EM transita entre pontos de acesso conectados a RA diferentes ou entre pontos de acesso pertencentes a sub-redes diferentes, respectivamente.

O problema gerado pela necessidade de atualizar estas informações está no fato das estações, com as quais a EM estava se comunicando antes do *handover*, continuarem enviando suas mensagens através das informações antigas a respeito da EM. Sendo assim, não é somente a atualização do endereço IP da EM que pode retardar os dados sendo recebidos e enviados, mas a divulgação desta alteração para as estações correspondentes.

Alguns mecanismos foram propostos [12, 23] com o objetivo de tratar esta questão da atualização do endereço IP de uma EM e também com o objetivo de minimizar a perda de dados [24, 25, 26].

## Capítulo 4

# Técnicas de localização e predição

N O capítulo anterior foram discutidos os efeitos do processo de *handover* nas conexões das estações móveis e como as camadas MAC e rede podem ser afetadas. Nesse capítulo são apresentados trabalhos relacionados encontrados na literatura, os quais se propõem a localizar as estações móveis ou, prever seus próximos pontos de acesso, técnicas que podem ser utilizadas para diminuir os efeitos negativos do processo de *handover* sobre as conexões das EMs. Esses trabalhos servirão como referência, para a definição de algumas características do mecanismo de auxílio à conectividade proposto.

### 4.1 Visão Geral

A movimentação das EMs permitida pelas redes sem fio torna necessária a localização dessas EMs com o objetivo de auxiliar o processo de *handover*, e também para o desenvolvimento de novas aplicações. Dentro deste contexto, podem ser observados dois tipos de mecanismos: localização e predição.

A proposta apresentada neste trabalho apresenta características de duas técnicas utilizadas por esses mecanismos:

1. Rádio frequência

## 2. Histórico de movimentação

Dentre essas técnicas, a de histórico de movimentação não tem como objetivo localizar precisamente a posição atual de uma estação móvel. Esta técnica indica o PA da rede sem fio para onde o *handover* pode ocorrer. Técnicas baseadas em rádio frequência permitem localizar a posição física da EM e, assim, podem ser utilizadas na tentativa de identificar um padrão de movimento e conseqüentemente prever a próxima posição mais provável das EMs.

## 4.2 Rádio Frequência

As soluções sendo pesquisadas baseadas neste método utilizam um mapa da rede sem fio para a localização das estações móveis. Sendo soluções que normalmente se dividem em duas fases, na primeira fase ocorre o mapeamento da área onde se localiza a rede sem fio, quando são feitas medições do nível de sinal em vários pontos do local. Estes pontos são usados como referência durante o processo de localização que constitui a segunda fase.

Pontos fixos da rede sem fio, como os pontos de acesso, por exemplo, são utilizados como referência para calcular a posição das estações móveis, técnica conhecida como triangulação.

### 4.2.1 Sistema de posicionamento em ambientes fechados para redes locais sem fio - WiPS

O WiPS, sistema de posicionamento apresentado em [1], além de utilizar os pontos de acesso como referência para calcular a posição da estação móvel, também utiliza as demais estações encontradas na vizinhança. O servidor de localização é o responsável por realizar as estimativas de localização e recebe todas as informações enviadas tanto pelas estações móveis como pelos pontos de acesso. O processo de localização ocorre da seguinte forma:

1. O Servidor de localização recebe os valores de força de sinal medidos pelas estações móveis a respeito dos pontos de acesso e demais estações em sua vizinhança, também recebe os valores de força de sinal medidos pelos pontos de acesso relativos aos demais pontos de acesso em sua vizinhança, além da posição absoluta de cada ponto de acesso.
2. Converte a força do sinal em um valor de distância.
3. Determina a posição inicial das estações móveis.
4. Atualiza o valor da posição da estação móvel até calcular o valor final.
5. Informa à estação móvel sua posição.

Os próprios autores comentam que estes são os dois pontos fortes de sua solução:

- Conforme a densidade de estações móveis na rede aumenta, a precisão da localização também aumenta.
- Em cenários nos quais a quantidade de pontos fixos de referência, como os pontos de acesso, é pequena, sua solução apresenta localizações mais precisas do que as apresentadas em outras propostas.

Em [1], foram realizadas simulações para avaliar a precisão da localização, comparando o método sugerido com um método em que a estação móvel não leve em consideração as demais estações durante a medição da força do sinal.

Os cenários usados possuem as seguintes características:

- área de simulação de  $40.000 \text{ m}^2$ .
- transmissão com 100 m de alcance.
- 4, 5 ou 9 pontos de acesso distribuídos na área de simulação.
- quantidade de estações variando de 5 até 50.

Dois tipos diferentes de simulação foram feitos de acordo com as seguintes suposições: a primeira delas considerando que a distância estimada entre os dispositivos possui uma probabilidade de erro, e a segunda considerando que a distância estimada corresponde exatamente a distância real entre os dispositivos. Estas suposições foram utilizadas para que não fosse necessário calcular efetivamente as distâncias. Os resultados são apresentados nos gráficos das figuras 4.1 e 4.2, a seguir.

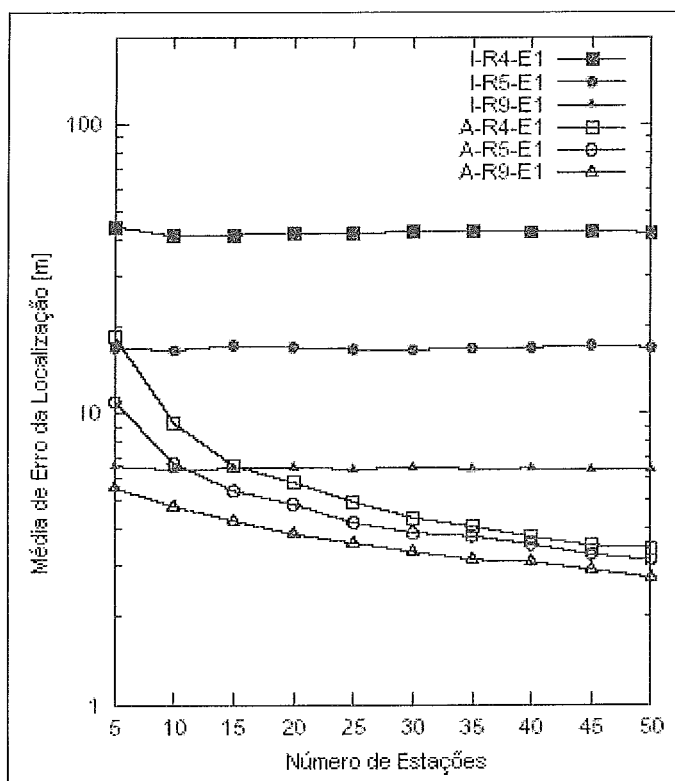


Figura 4.1: Resultados nos quais a distância possui probabilidade de erro. Figura retirada de [1]

No caso em que existe a probabilidade de erro na estimativa da distância entre os dispositivos, a média de erro da localização para um esquema baseado em medições feitas considerando apenas os pontos de acesso (I-R) foi de 42.2 m, 16.8 m e 6.5 m, com 4, 5 e 9 pontos de acesso respectivamente. A média de erro da localização encontrada para o WiPS [1] (A-R) em que 5 estações estavam presentes foi de 18.5 m, 10.9 m e 5.5 m, com 4, 5 e 9 pontos de acesso respectivamente. Conforme a quantidade de estações foi aumentada, a média de erro da localização diminuiu para o WiPS, apresentando os valores 3.4 m, 3.1 m e 2.8 m, para 4, 5 e 9 pontos de acesso,

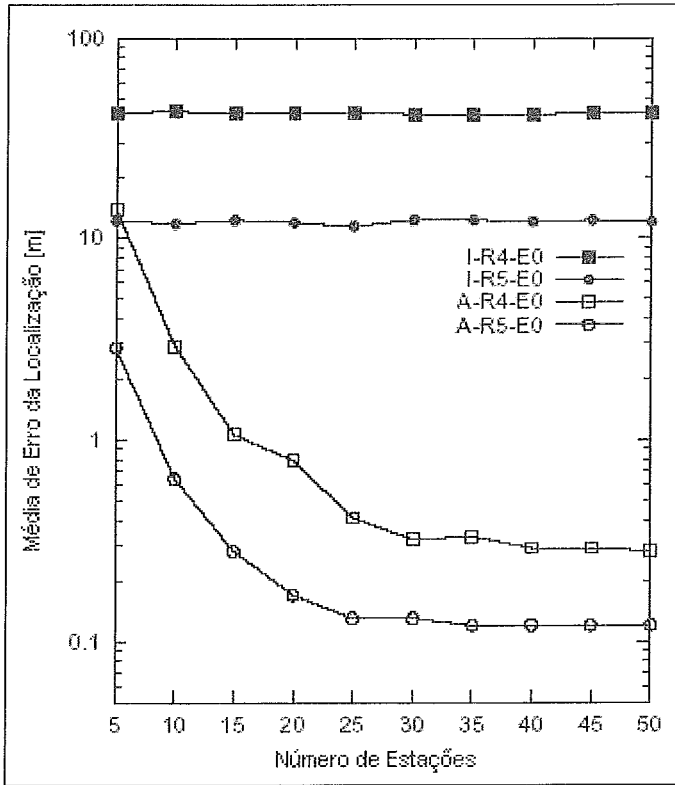


Figura 4.2: Resultados nos quais a distância estimada não possui erro. Figura retirada de [1]

não influenciando o outro método avaliado.

Nas simulações em que a distância estimada corresponde exatamente a distância real entre os dispositivos, a média de erro da localização para um esquema baseado em medições feitas considerando apenas os pontos de acesso (I-R) foi de 42.0 m e 12.1 m, com 4 e 5 pontos de acesso.

Já a média de erro da localização para o WiPS [1] (A-R) foi de 13.8 e 0.3 m, com 5 e 50 estações, respectivamente, presentes no cenário e 4 pontos de acesso. Com 5 pontos de acesso o método apresentou uma média de erro da localização de 2.9 m e 0.1 m, com 5 e 50 estações presentes.



### 4.2.2 RADAR

O sistema RADAR [2] é uma outra solução baseada em rádio frequência. No RADAR, os dados obtidos durante a fase inicial de coleta são utilizados para construir e validar modelos de propagação de sinal, além de serem utilizados para determinar a localização das estações móveis.

A informação utilizada para determinar a localização é a potência do sinal. Os autores comentam que apesar de também ser possível obter valores da relação sinal-ruído (SNR), estes valores sofrem um impacto maior de flutuações que prejudicam sua relação com a posição física dos dispositivos sem fio.

Utilizando ferramentas implementadas pelos próprios autores, as estações móveis enviam, via *broadcast*, pacotes UDP periodicamente, permitindo que a força do sinal seja medida a partir dos pontos de acesso de forma sincronizada. O sincronismo entre as estações móveis e os pontos de acesso é importante pois os valores coletados são posteriormente armazenados em uma base de dados única de forma ordenada.

Durante a fase de coleta a força do sinal foi medida nas quatro direções (norte, sul, leste e oeste) em 70 pontos diferentes da área de 980  $m^2$ .

Após o mapeamento da área, o sistema está pronto para realizar a localização das estações móveis, para isso os autores propõem duas formas diferentes: através de um método empírico ou através de um modelo de propagação de sinal. No primeiro, para determinar a mais provável posição de uma estação móvel o sistema RADAR busca em sua base de dados por valores de força do sinal que são comparados com os medidos a partir da posição atual da estação móvel, a distância entre estes conjuntos de valores de força do sinal é computada através da equação Euclidiana  $\sqrt{((ss_1 - ss'_1)^2 + (ss_2 - ss'_2)^2 + (ss_3 - ss'_3)^2)}$ , e os valores de sinal que apresentarem a menor distância entre si indicam a posição estimada da estação móvel. Na equação,  $(ss_1, ss_2, ss_3)$  correspondem aos valores de força do sinal (signal strength) medidos a partir da posição atual e  $(ss'_1, ss'_2, ss'_3)$  os valores de força do sinal encontrados na base de dados.

No segundo caso, um modelo matemático para representar o comportamento do

parâmetro força do sinal é criado, tornando desnecessária a etapa de mapeamento da área onde encontra-se a rede sem fio.

A avaliação foi feita com base em dados de um cenário real com as seguintes características:

- Um andar de um prédio com mais de 50 salas dispostas em uma área de 980  $m^2$ .
- 3 pontos de acesso.
- 1 estação móvel.
- Transmissão com um alcance aproximado de 200 m nos corredores, e nos demais locais um alcance aproximado de 25 m.

Foram utilizados 2 métodos como base de comparação com o método empírico. O primeiro, um método de escolha aleatória em que a posição estimada da estação móvel é escolhida aleatoriamente. No segundo, a posição estimada é considerada a mesma posição do ponto de acesso com o sinal mais forte. A métrica para avaliação dos resultados é a distância entre a posição estimada e a posição real da estação móvel, o erro da distância estimada, calculada através da equação Euclidiana apresentada anteriormente.

Os resultados obtidos mostram que os maiores erros, em metros, tem maior probabilidade de ocorrer nos dois métodos comparados ao método empírico. Observando a Figura 4.3, é possível perceber, por exemplo, que o método empírico apresenta a probabilidade de aproximadamente 90% de um erro de até 10 metros, enquanto o mesmo erro ocorre com probabilidade aproximada de 60% e 20% para os métodos de escolha baseada no sinal mais forte e escolha aleatória, respectivamente.

### 4.2.3 Rastreador para redes locais sem fio - *WLAN Tracker*

Em [3] pode-se perceber uma preocupação maior com a implementação final do sistema de localização, uma interface gráfica é criada para exibir a posição das

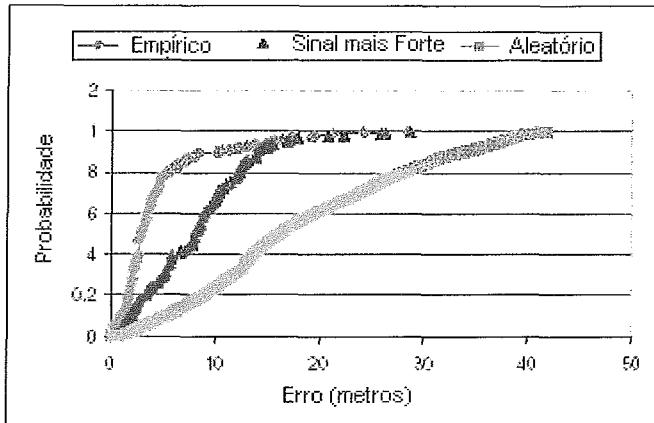


Figura 4.3: Resultados do erro na estimativa da posição. Figura retirada de [2]

estações móveis dentro da rede sem fio e é apresentada a idéia de integração deste com um sistema mais amplo.

Durante a fase de mapeamento, em cada ponto no qual deve ocorrer a medição da força do sinal, são realizadas medições repetidas vezes. Então, calcula-se a média da força do sinal para cada um destes pontos e os valores são armazenados.

Na fase de execução, quando o sistema está pronto para funcionar, após ter sido feito o mapeamento da área, as estações móveis enviam a força de sinal medida a partir de sua posição atual para o servidor *WLAN Tracker*. Todas as mensagens enviadas são autenticadas pelas estações móveis usando uma função de *hash* e utilizando o nome do usuário, senha e valor da força do sinal medido. Apenas as mensagens válidas recebidas pelo servidor serão passadas para o sistema de localização.

É feita uma pesquisa na base de dados coletados durante a fase de mapeamento. Apenas as 20 ocorrências, cujas distâncias mais se aproximaram do valor enviado pela estação móvel, são utilizadas no decorrer do processo. Sobre este primeiro resultado, podem ser aplicados mais dois filtros, o de histórico de movimentação da estação ou o filtro de sinal para refinar o processo de localização. O cálculo das distâncias entre as posições feito a partir da força do sinal pode ser realizado através de duas equações diferentes:

$c$ : quantidade de medições encontradas na base de dados pertencentes a um determinado ponto de acesso;

$m_k$ : valor de força do sinal encontrado na base de dados para o ponto de acesso  $k$ ;

$a_k$ : valor de força do sinal medido para estação móvel a partir de sua posição atual;

### *Euclidiana*

$$\sqrt{\sum_{k=1}^c (m_k - a_k)^2}$$

### *Manhattan*

$$\frac{\sum_{k=1}^c |m_k - a_k|^2}{c}$$

Ao final do processo, a quantidade de possíveis posições encontradas é avaliada seguindo o critério mostrado a seguir. Caso a quantidade de posições estimadas seja igual a:

- 0 (zero): não foi possível localizar a estação móvel dentro do mapa atual. Caso um tempo limite predeterminado no qual a estação não se comunique com o servidor ou não seja encontrada, seja ultrapassado, o sistema assume que a mesma deixou a área da rede sem fio.
- 1: a estação móvel foi localizada.
- $>1$ : a posição da estação móvel é incerta. Uma nova seleção é feita para determinar a posição.

O desempenho do *WLAN Tracker* foi avaliado em [3], em um cenário real com as seguintes características:

- área com 485  $m^2$
- 5 pontos de acesso
- 2 estações móveis

O gráfico a seguir mostra a distribuição das distâncias estimadas incorretamente. Nestes testes a quantidade de pontos de acesso presentes no cenário foi o único fator alterado, variando de 1 até 3 pontos de acesso ativos. A média de erros foi de 8.144 m, 4.767 e 2.244 m, para 1, 2 e 3 pontos de acesso, respectivamente.

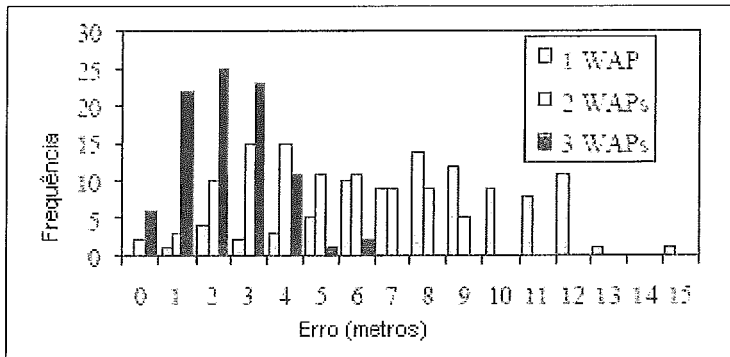


Figura 4.4: Distribuição do erro versus o número de pontos de acesso. Figura retirada de [3]

Os resultados acima foram obtidos em um ambiente fechado, mas o desempenho também foi avaliado em um ambiente aberto. Uma área de  $240 m^2$  foi usada, apresentando a média de erros de 6.537 m.

## 4.3 Comparativo das propostas baseadas em rádio frequência

A Tabela 4.1 apresentada a seguir permite comparar alguns aspectos importantes a respeito das propostas estudadas.

A fase inicial, em que ocorre o mapeamento, representa uma grande carga de trabalho para quem deseja implementar umas das soluções, pois quando ocorre alguma mudança no ambiente da rede sem fio, como por exemplo, a mudança de um ponto de acesso de um local para outro, o mapeamento provavelmente tem de ser refeito para que os dados armazenados passem a refletir a nova configuração do ambiente sem fio. Sendo assim, é importante existirem alternativas que tornem esta fase desnecessária, como as apresentadas pelo RADAR [2] e WiPS [1].

Proposta	Fase de Mapeamento	Orientação	Sincronismo	Cálculo de Distância	Filtro de Histórico	Filtro de Sinal
WiPS	Não	Não	Não	-	Não	Não
RADAR	Não	Sim	Sim	Euclidiana	Não	Não
WLAN Tracker	Sim	Não	Não	Euclidiana e Manhattan	Sim	Sim

Tabela 4.1: Tabela comparativa das propostas baseadas em rádio frequência.

Dois fatores presentes apenas no RADAR são a orientação da estação móvel, ou seja, se está posicionada em direção ao norte, sul, leste ou oeste, e a necessidade de sincronismo entre o ponto de acesso e a estação móvel, uma vez que a medição da força do sinal é feita pelos pontos de acesso. O primeiro é um ponto forte do RADAR, já que a variação da força do sinal é uma variável complexa para se trabalhar, sendo importante ter informações detalhadas colhidas durante o mapeamento. O segundo fator pode ser considerado um ponto negativo, pois, apesar de transferir o trabalho de medir a força do sinal para os pontos de acesso, as estações móveis continuam obrigadas a participar ativamente do processo pois são responsáveis por enviar as mensagens de *broadcast*.

O *WLAN Tracker* [3] apresentou resultados obtidos a partir de cálculos feitos tanto com a equação de distância Euclidiana, quanto com a equação de distância Manhattan. Nesta referência os autores mostram que utilizar qualquer uma das duas influencia pouco nas estimativas das posições. Esta proposta foi a única que realizou avaliações utilizando filtros de histórico e sinal, mostrando que o filtro de histórico teve grande importância no resultado das estimativas.

## 4.4 Histórico de Movimentação

Para funcionar, este tipo de solução necessita de uma base de informações a respeito dos passos dados pelos usuários das estações móveis. Diferentemente das técnicas de localização, a técnica baseada em histórico não tem como objetivo localizar precisamente a posição da estação móvel. O histórico permite identificar os caminhos percorridos com maior frequência pelo usuário e, assim, estimar o próximo ponto de acesso para o qual este usuário seguirá com maior probabilidade.

A movimentação das estações é normalmente registrada através das transições realizadas por elas, entre os pontos de acesso aos quais se associam.

### 4.4.1 Grafo de pontos de acesso vizinhos

Na proposta [6], uma estrutura de dados é montada dinamicamente com informações sobre as transições entre os pontos de acesso realizadas pelas estações móveis. Esta estrutura reflete a topologia da rede sem fio, registrando quais são os pontos de acesso vizinhos por onde os usuário estão transitando. Dois pontos de acesso são considerados vizinhos quando uma estação móvel realiza uma transição diretamente entre os dois.

A estrutura de dados é montada a partir da observação das mensagens de reassociação trocadas entre as estações móveis e os pontos de acesso. Quando uma estação móvel associada a um ponto de acesso, digamos  $ap_i$ , alcança uma área na qual a cobertura é feita por um novo ponto de acesso, por exemplo  $ap_j$ , ela deve enviar um pedido de reassociação para este novo ponto de acesso informando qual era o anterior. Este processo de reassociação está definido no padrão 802.11.

Os próprios autores comentam que a implementação da estrutura de dados poderia ser feita de maneira centralizada ou distribuída. Uma versão que funciona de forma distribuída foi implementada, em que cada ponto de acesso armazena as informações sobre quais são seus vizinhos. Cada ponto de acesso aprende sobre seus vizinhos através das mensagens de reassociação ou através das mensagens *Move-*

*Notify* definidas pelo protocolo *Inter Access Point Protocol* (IAPP) que faz parte do padrão 802.11f [27].

Definições:

***Grafo de pontos de acesso vizinhos***

$G = (V,E)$ ; Grafo representando pontos de acesso e suas vizinhanças.

$V = \{ap_1, ap_2, \dots, ap_n\}$ ; Todos os pontos de acesso da rede sem fio.

$E =$  Conjunto de ligações existentes entre os pontos de acesso vizinhos da rede.

$e = (ap_i, ap_j)$ ; Ligação entre  $ap_i$  e  $ap_j$  quando são vizinhos.

$Vizinho(ap_i) = \{ap_{i_k} : ap_{i_k} \in V, (ap_i, ap_{i_k}) \in E\}$ ; Conjunto de todos os pontos de acesso vizinhos de  $ap_i$ .

Os dois passos a seguir representam o algoritmo executado no ponto de acesso em que a estrutura de dados contendo as transições das estações móveis será criada.

1. Recebimento de um pedido de reassociação:

Quando uma estação móvel  $c$  se reassocia a um ponto de acesso  $ap_j$  saindo de um ponto de acesso  $ap_i$ ,  $ap_j$  adiciona o antigo ponto de acesso como seu vizinho.

2. Recebimento de uma mensagem *Move-Notify*:

Quando o ponto de acesso  $ap_j$  recebe uma mensagem *Move-Notify* enviada pelo ponto de acesso  $ap_i$ ,  $ap_j$  adiciona  $ap_i$  como seu vizinho. Neste caso a mensagem *Move-Notify* é enviada pelo novo ponto de acesso para o antigo.

O histórico de movimentação é usado em [6] para que o processo de reassociação (camada 2), devido ao *handover*, seja realizado de forma mais rápida através da transferência de informações sobre as estações móveis do ponto de acesso antigo para os possíveis novos pontos de acesso, identificados através do histórico. A esse conjunto de informações sobre as estações dá-se o nome de contexto.



Este trabalho apresenta resultados de avaliações feitas tanto através de simulações, como da implementação de uma versão do algoritmo para propagação do contexto das estações móveis.

O ambiente de teste no qual houve a implementação possui as seguintes características:

- 2 andares de um prédio.
- 9 pontos de acesso (4 pontos de acesso em um andar e 5 no outro).
- 1 estação móvel agindo como usuário da rede.
- 1 estação móvel utilizada apenas para capturar o tráfego.

Após a estação móvel percorrer os dois andares passando aleatoriamente por todos os pontos de acesso diversas vezes, foram executadas 114 reassociações e 1 associação. Os resultados obtidos mostraram que, a partir do momento em que o grafo começou a ser formado permitindo a propagação do contexto da estação móvel, os tempos de reassociação caíram drasticamente. Passando de uma média de 15.37 ms para 1.69 ms.

As simulações permitiram variar bastante a quantidade de estações móveis, usando de 50 a 500 em algumas simulações. Também permitiu variar o tamanho da memória *cache* utilizada pelo ponto de acesso para guardar sua lista de vizinhos e o grau de mobilidade das estações móveis, definido como a probabilidade da estação realizar um *handover* em um instante de tempo qualquer da simulação.

Os resultados mostraram o efeito destas variáveis sobre a taxa de sucesso de aproveitamento dos contextos transferidos para pontos de acesso vizinhos (*Cache Hit*), que corresponde a reassociações mais rápidas do que aquelas nas quais os contextos não foram previamente transferidos. O comportamento da taxa pode ser visto em detalhe nas figuras 9-14 em [6], nas quais é possível perceber seu crescimento de acordo com o aumento do grau de mobilidade das estações móveis e com o aumento do tamanho da memória *cache*.

### 4.4.2 Região frequente de *Handover*

O trabalho apresentado nesta seção utiliza um conceito de região frequente de *handover*, *Frequent Handover Region* (FHR) [7, 28], para realizar a pré-autenticação das estações móveis da rede sem fio. Tendo como principal objetivo diminuir o tempo gasto pelo processo de reautenticação devido às transições entre os pontos de acesso.

O FHR representa o conjunto de pontos de acesso para os quais uma estação móvel costuma realizar *handover* com maior frequência. O trabalho não mostra uma forma concreta como o histórico de movimentação deve ser obtido, mas indica que as informações obtidas devem ser utilizadas de forma centralizada.

Em [7, 28], fica clara a preocupação dos autores com a existência de diferentes padrões de movimentação das estações móveis que implicam diretamente na frequência das transições entre pontos de acesso e na definição de para quantos pontos de acesso é interessante realizar a pré-autenticação.

Dois pontos importantes são ressaltados. O primeiro, é o fato de que dois pontos de acesso fisicamente adjacentes não necessariamente devem ser considerados vizinhos, por exemplo, quando dois pontos de acesso são colocados em andares diferentes de um prédio, e uma estação móvel não consegue transitar entre os dois com facilidade. O segundo, diz respeito a possibilidade de uma estação móvel movimentar-se a uma velocidade tal, que com uma determinada disposição física dos pontos de acesso, possa ocorrer a transição entre pontos de acesso não adjacentes.

São definidos os passos para criação do FHR e sua utilização de acordo com as diferentes características de movimentação das estações móveis. Um grafo representando a disposição dos pontos de acesso, no qual cada ligação entre os pontos de acesso possui um peso representado por  $w(i,j)$ , deve ser criado. A equação a seguir mostra como este peso deve ser calculado para os pontos de acesso  $i$  e  $j$ :

$$w(i,j) = \begin{cases} 0 & (i = j); \\ \frac{1}{H(i,j)} & (i \neq j, \text{ pontos de acesso } i \text{ e } j \text{ são adjacentes}); \\ \infty & (\text{pontos de acesso } i \text{ e } j \text{ não são adjacentes}) \end{cases}$$

$H(i,j)$  corresponde a taxa de *handover* realizados do ponto de acesso  $i$  para o  $j$ . Sendo calculado através da equação:

$$H(i,j) = \frac{N(i,j)}{R(i,j)}$$

Sendo  $N(i,j)$  o número de processos de *handover* realizados e  $R(i,j)$  o tempo de residência no ponto de acesso  $i$ , para eventos partindo de  $i$  para  $j$ .

$w(i,j)$  é usada para a criação de uma matriz  $N \times N$ , em que  $N$  corresponde a quantidade de pontos de acesso. Então, o algoritmo apresentado a seguir é usado para determinar o FHR, tendo  $D$  como limite para o peso. De acordo com o valor de  $D$ , uma estação móvel pode ter uma quantidade maior ou menor de pontos de acesso pré-autenticados. Isto vai depender da classe de serviço na qual ela se enquadra. Quanto maior a quantidade de pontos de acesso pré-autenticados, maior a possibilidade da estação móvel economizar tempo após sua transição para o novo ponto de acesso, porém também é maior o consumo dos recursos da rede.

Além de  $D$ ,  $H$  também serve como limite para a quantidade de pontos de acesso incluídos em FHR, este corresponde a quantidade máxima de saltos.

Seleção FHR(W: Matriz de Peso, N: Quantidade de pontos de acesso, i: índice do ponto de acesso atual, D: Valor limite de peso, M: Matriz FHR)

```
{ for j = 1 to N
    m(j) = False;
end
for j = 1 to N
    if( w(i,j) <= D)
        then m(j) = True;
        for k = 1 to N
            if( w(i,k) <= D-w(i,j) ) then m(k) = True;
            end if
        end
    end if
end }
```

Foram realizadas simulações utilizando o algoritmo proposto em [7, 28], comparado ao processo normal de autenticação, os resultados obtidos foram favoráveis a utilização do FHR, tendo como métrica os tempos de latência devido ao processo de *handover*.

### 4.4.3 Esquema de predição de mobilidade adaptativo

Em [4], os autores apresentaram 6 algoritmos de predição baseados em histórico de movimentação e realizaram simulações para avaliar o nível de acertos de cada um deles.

Descrição dos algoritmos:

- *Critério de Localização*

A estação móvel registra a informação sobre cada ponto de acesso ao qual esteve associada. Assim, cada vez que deixar um ponto de acesso e associar-se a um novo a quantidade de vezes que esteve nesse novo é incrementada. A partir destas quantidades registradas é possível calcular a probabilidade da estação móvel ir para um determinado ponto de acesso a partir do atual, o autor se refere a probabilidade de cada partida como histórico de partidas.

Para realizar a predição este algoritmo identifica o ponto de acesso atual ao qual a estação encontra-se associada e utiliza o histórico de partidas para indicar seu destino mais provável. Este destino é aquele com a maior quantidade de visitas tendo como origem o ponto de acesso atual.

- *Critério de Direção*

Seguindo a idéia do algoritmo anterior de utilizar um histórico de partidas, este por sua vez, utiliza uma informação a mais para determinar o ponto de acesso mais provável para o qual a estação móvel pode ir, a direção. Tendo como referência o último ponto de acesso ao qual a estação esteve associada antes do atual, o algoritmo determina a direção possivelmente sendo seguida. Então, utiliza esta informação de forma complementar ao histórico de partidas, com

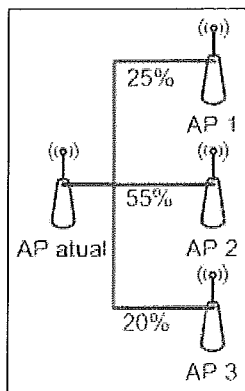


Figura 4.5: Critério de Localização.

o objetivo de aumentar precisão do algoritmo. Entende-se como um algoritmo mais preciso aquele que prediz com maior chance de acerto o próximo ponto de acesso para uma estação móvel.

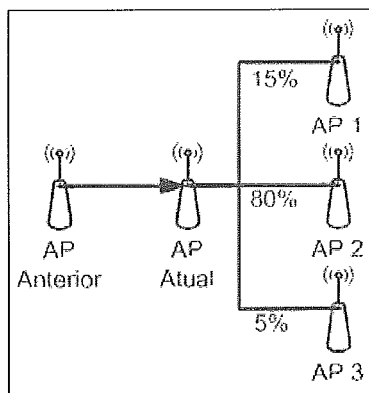


Figura 4.6: Critério de Direção.

- *Critério de Segmento*

Segue o comportamento do Critério de Direção, porém não utiliza como referência apenas o último ponto de acesso ao qual a estação esteve associada antes do atual, levando em consideração os N anteriores para sua predição. Enquanto está conectada a rede sem fio, a estação móvel forma um sequência de pontos de acesso em que é possível identificar seu caminho até o atual. O autor chamou esta sequência de segmento. Sendo assim, a partir de um ponto de acesso no qual a estação móvel tenha permanecido um determinado tempo, um segmento é iniciado. O final deste segmento pode ser o ponto de

acesso inicial ou qualquer outro da rede, sendo considerado o início de um novo segmento.

O algoritmo Critério de Segmento compara o caminho sendo percorrido pela estação móvel com aqueles encontrados em seu histórico, predizendo como próximo ponto de acesso aquele encontrado na respectiva posição do segmento.

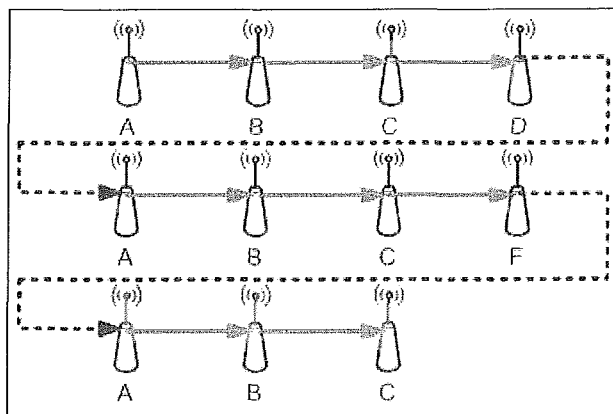


Figura 4.7: Critério de Segmento.

- *Regra de Bayes*

Baseado na mesma idéia do Critério de Direção este algoritmo por sua vez utiliza uma referência a mais na tentativa de prever a próxima posição de uma estação móvel. Além de levar em consideração o último ponto de acesso e o atual, aos quais a estação móvel se associou, a fórmula da regra de Bayes utiliza uma variável correspondente a um ponto qualquer encontrado no caminho percorrido pela estação móvel. Como é possível visualizar na figura a seguir este algoritmo tenta prever a probabilidade de todos os possíveis próximos movimentos.

- *Critério de Tempo*

Este algoritmo utiliza a técnica de direção obtida em relação ao ponto de acesso anterior, de forma complementar ao tempo de permanência da estação móvel nos pontos de acesso por onde passou. Assumindo que os usuários da rede desempenhem tarefas que consumam um tempo similar diariamente, o tempo de permanência associado a um determinado ponto de acesso é levado

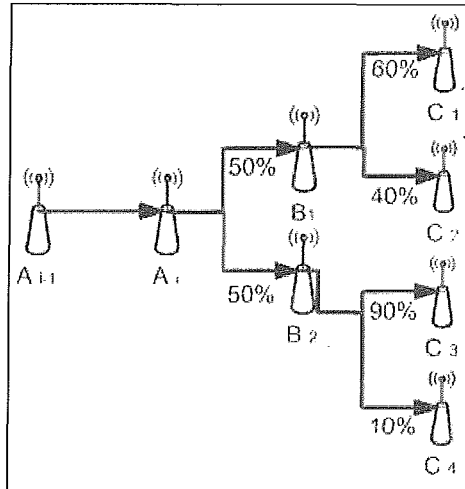


Figura 4.8: Regra de Bayes.

em consideração quando o algoritmo tenta realizar a previsão.

- *Critério de Correlação*

Caso uma estação móvel não possua histórico de movimentação este pode ser o único algoritmo de previsão viável. A partir do histórico de movimentação de todas as outras estações móveis da rede, o algoritmo correlaciona estes dados com objetivo de prever qual será o próximo ponto de acesso visitado pela estação móvel. Para cada posição, o algoritmo analisa os últimos 30 minutos do histórico de movimentação de todos os usuários e realiza as previsões a partir destes dados.

As simulações realizadas utilizaram como entrada para os algoritmos, dados coletados em uma rede real através de um sistema de localização chamado *Active Badge*, na qual 32 funcionários de uma empresa foram monitorados. Estes dados não foram coletados pelos autores deste trabalho, eles reutilizaram os dados obtidos em [29].

Parte dos dados foi usada para inicializar o sistema, gerando um histórico de movimentação que os algoritmos pudessem utilizar. O correspondente a 60% dos dados foi usado nesta etapa, os 40% restantes foram usados para avaliar as previsões realizadas pelos algoritmos.

Um algoritmo chamado de Seleção Aleatória foi usado como base de comparação

para os demais, este algoritmo funciona simplesmente escolhendo ao acaso o próximo ponto de acesso visitado pela estação móvel.

Os resultados das simulações mostraram que o algoritmo Critério de Direção obteve o melhor resultado, com taxa média de acertos de 72%. Os autores atribuem a baixa precisão dos algoritmos, que ficou entre 50% e 70% aproximadamente, a aleatoriedade estatística dos movimentos dos usuários.

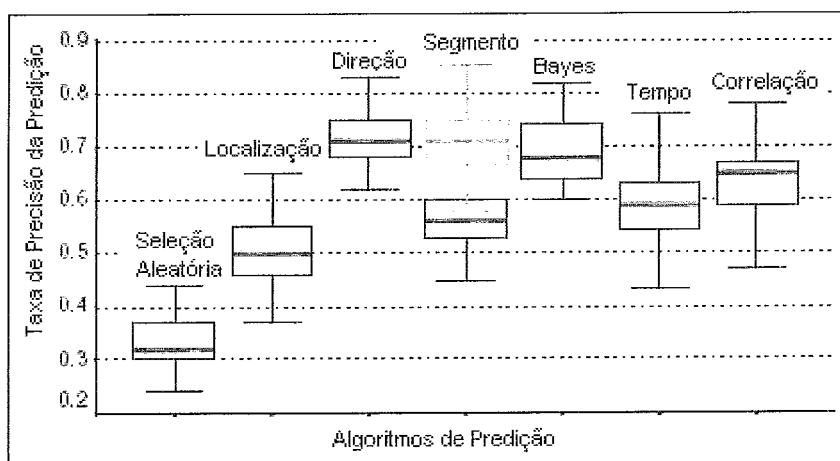


Figura 4.9: Desempenho dos algoritmos de predição. Figura retirada de [4]

Uma proposta para melhorar o desempenho dos algoritmos através da seleção de mais de um ponto de acesso durante as predições é apresentada. Isto deve ser feito utilizando-se uma taxa de confiança de predição, *Prediction Confidence Ratio* (PCR). O valor desta taxa deve ser obtido de tal forma que quando uma predição for realizada, caso sua probabilidade de acerto não tenha um valor maior que o valor da PCR um outro ponto de acesso seja incluído na predição, e assim sucessivamente até que a soma das probabilidades atinja o valor da PCR.

Novas simulações foram feitas utilizando os algoritmos Critério de Direção e Critério de Correlação, ambos adaptados ao uso da taxa PCR. De fato houve uma melhora na quantidade de predições corretas, para um valor da PCR de 75% os algoritmos atingiram valores para taxa média de precisão de 87% e 82% para o Critério de Direção e Critério de Correlação, respectivamente.



## 4.5 Comparativo das propostas baseadas em histórico

Não é fácil comparar os resultados apresentados pelas propostas pois os cenários utilizados e também as métricas de avaliação são diferentes.

O mecanismo Grafo de pontos de acesso vizinhos [6] apresenta claramente a forma como as transições entre os pontos de acesso devem ser registradas, para montar o histórico de movimentação das estações móveis, implementando o mecanismo de forma distribuída, mas comentando que poderia ser feito de forma centralizada. Já as propostas FHR [7] e o Esquema Adaptativo [4], não definem claramente como construir o histórico de movimentação. No primeiro, os autores propõem que seja implementado de forma centralizada, no segundo, quando os autores apresentam os resultados, no quais os dois melhores desempenhos foram dos algoritmos Critério de Direção e Critério de Correlação, eles propõem que o primeiro algoritmo seja implementado nas estações móveis e que o segundo seja implementado nos pontos de acesso, funcionando de forma distribuída.

Um aspecto muito importante é a relação entre a precisão dos mecanismos, influenciando diretamente a qualidade do serviço oferecido aos usuários, e a quantidade de recursos consumidos devido a pré-alocação de recursos, este aspecto foi tratado de formas diferentes em cada proposta.

No mecanismo Grafo de pontos de acesso vizinhos, todos os pontos de acesso identificados pelo mecanismo durante a estimativa têm recursos pré-alocados. No mecanismo FHR, a qualidade do serviço oferecido pode ser controlada através de parâmetros que permitem a seleção de uma quantidade maior ou menor de pontos de acesso durante a seleção da região frequente de *handover*. O Esquema Adaptativo, apresenta uma solução semelhante a do FHR, realizando simulações para o caso de apenas 1 ponto de acesso ou vários serem estimados como próximos.

O desempenho das propostas foi avaliado através de simulações, porém, o Grafo de pontos de acesso vizinhos foi avaliado também através de implementação.

A única proposta que apresentou mais de uma forma para analisar os dados do histórico de movimentação foi o Esquema Adaptativo, através dos 6 diferentes algoritmos de predição.

# Capítulo 5

## Proposta de mecanismo de suporte para *handover*

N O capítulo anterior foram apresentados trabalhos que tinham como objetivo localizar as estações móveis ou prever sua mobilidade com base em um histórico de movimentação. Nesse capítulo é apresentado o mecanismo de suporte à conectividade proposto, seu funcionamento é descrito através das seções 5.2 e 5.3, nas quais a coleta das informações, utilizadas para criação do histórico de movimentação, e o novo algoritmo de predição utilizado, são apresentados. Nas seções posteriores, as mensagens definidas para o funcionamento do mecanismo e um exemplo de como são utilizadas, são apresentados.

### 5.1 Visão Geral

A proposta tem como objetivo formar um histórico de movimentação para as EMs e, com base nesse histórico, realizar as previsões dos futuros PAs. A principal diferença do método proposto para os demais métodos baseados em histórico é a forma utilizada para montar o histórico de movimentação.

Nessa proposta, são utilizadas mensagens periódicas enviadas pelas EMs para os PAs com informações sobre os demais PAs em seu alcance. O histórico de movimen-

tação das EMs é construído com tais informações. O envio de mensagens realizado pelas EMs se assemelha à forma como os métodos baseados em rádio frequência trabalham, nos quais as EMs devem enviar informações sobre o nível de sinal ou força de sinal sobre os PAs em seu alcance para o sistema de localização. Outros métodos baseados em histórico montam o histórico de movimentação de acordo com as transições realizadas pelas EMs, não havendo a necessidade da comunicação explícita por parte da EM sobre seu PA atual e o PA novo para a formação do histórico. Porém, apenas a indicação das transições entre os PAs não é informação suficiente para o algoritmo de predição proposto trabalhar, sendo necessária a informação adicional sobre quais eram os PAs no alcance da EM antes que ela realizasse a transição para o novo PA.

O funcionamento do mecanismo proposto envolve as seguintes etapas:

- Coletar dados sobre os PAs.
- Enviar os dados sobre os PAs para a entidade central.
- Montar histórico e realizar predições.

Cada entidade envolvida nas etapas necessárias para o funcionamento do mecanismo deve desempenhar as seguintes tarefas:

#### *Estações Móveis*

- Coletar os dados sobre os PAs dentro do alcance de transmissão.
- Enviar dados coletados para o PA ao qual está associada.

#### *Pontos de Acesso*

- Encaminhar as informações para a entidade central.

#### *Entidade Central*

- Armazenar as informações enviadas pela EM através do PA.

- Realizar a predição baseando-se em um algoritmo de predição.
- Disponibilizar os resultados das predições.

As EMs realizam o rastreamento dos PAs dentro de sua área de cobertura periodicamente, mas as informações obtidas são enviadas para a entidade central somente quando não são exatamente as mesmas encontradas no último rastreamento realizado. Esse procedimento permite uma melhor utilização do meio físico. O valor para o intervalo de tempo entre os rastreamentos deve ser tal que a velocidade do movimento de uma EM não impossibilite que um PA seja percebido em seu alcance.

## 5.2 Coleta dos dados

Os dados necessários para formar o histórico de movimentação são obtidos pelas EMs. Cada EM identifica quais são os PAs em seu alcance periodicamente, armazenando o endereço MAC de cada um.

As informações coletadas são enviadas para a entidade central que as utiliza com o objetivo de predizer para qual ponto de acesso a EM passará. O método utilizado pela entidade central para selecionar os pontos de acesso será tratado em uma seção posterior.

A frequência com a qual as informações devem ser coletadas está relacionada com a velocidade de movimentação das estações móveis. Foi possível perceber, através de algumas simulações, que, aumentando a velocidade de movimentação de uma estação móvel e mantendo a mesma frequência para coletar as informações, muitos pontos de acesso entraram no alcance da estação móvel em um determinado instante, sem que nenhuma informação sobre eles tenha sido coletada.

As informações sobre os pontos de acesso são coletadas pelas EM através de uma funcionalidade definida no padrão 802.11 de rastreamento ativo, chamada *active scan*.

Estas são as mensagens definidas com o objetivo de enviar as informações cole-

tadas:

- LISTA-PA: Lista contendo o endereço MAC de todos os PAs encontrados pela EM durante o rastreamento.
- LISTA-OK: Resposta enviada pelos PAs para as EMs após o recebimento de uma lista de PAs corretamente.
- LISTA-PA-ENC: Mensagem enviada pelo PA para a entidade central contendo a lista de PAs enviada pela EM.

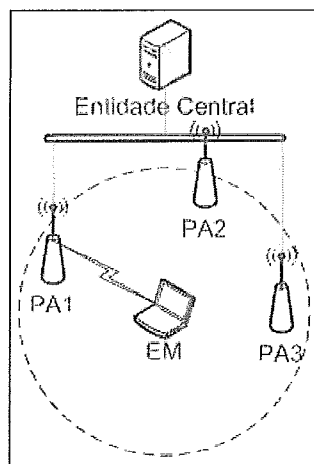


Figura 5.1: EM coleta informação e transmite para a entidade central.

A lista com as informações sobre os PAs devem ser enviadas primeiramente para o PA ao qual a EM está associada, pois, desta maneira, apenas os PAs são obrigados a conhecer o endereço IP da entidade central. Como os resultados das predições deverão ficar disponíveis a fim de que outros mecanismos pertencentes à mesma sub-rede possam se beneficiar destas informações ao realizar a pré-alocação de recursos, é desejável que os acessos aos resultados das predições tenham como origem apenas a mesma sub-rede na qual a entidade central se encontra. O que reforça o motivo pelo qual as próprias EMs não devem conhecer o endereço da entidade central.

A Figura 5.1 mostra um cenário onde a EM realiza o rastreamento ativo, encontrando os pontos de acesso PA2 e PA3. Em uma configuração de rede bastante

usual, essa EM estaria dentro de uma sub-rede diferente daquela na qual os pontos de acesso e a entidade central estariam. Como os próprios PAs conhecem o endereço da entidade central, não é necessário que a EM se comunique diretamente com essa. Apenas membros da sub-rede, na qual a entidade central foi implementada, precisam conhecer seu endereço.

### 5.3 Entidade Central

As informações enviadas pelas EMs são utilizadas pela entidade central para identificar os PAs que têm maior probabilidade de serem visitados durante a próxima transição.

Para realizar a predição, a entidade central deve utilizar algum algoritmo como, por exemplo, os apresentados em [4]. Isso evita que os recursos sejam pré-allocados sem nenhum critério, o que poderia acarretar em um grande desperdício de recursos, ou mesmo, tornar impossível realizar a pré-alocação devido à sua escassez.

O pseudo-código abaixo deve ser executado pela entidade central para receber as informações sobre os PAs enviados por uma determinada EM e para realizar as predições baseando-se no algoritmo de predição apresentado na seção 5.3.1. Os atributos recebidos na primeira linha do código (*em*, *pa-atual*, *pa-alcance*) representam, uma estação móvel, PA ao qual a EM está associada e PAs dentro do alcance da EM, respectivamente.

```

RECEBE INFORMAÇÃO (EM, PA-ATUAL, PA-ALCANCE)
  GUARDA INFORMAÇÃO RECEBIDA EM INF-ATUAL;
  AGUARDA ATÉ RECEBER NOVAS INFORMAÇÕES (EM, PA-ATUAL, PA-ALCANCE)
  GUARDA NOVA INFORMAÇÃO RECEBIDA EM INF-NOVA;
  SE INF-ATUAL.PA-ATUAL != INF-NOVA.PA-ATUAL
    "OCORREU UMA TRANSIÇÃO.";
  TRANSIÇÃO DE INF-ATUAL.PA-ATUAL PARA INF-NOVA.PA-ATUAL ONDE
OS PAS
  NO ALCANCE ERAM INF-ATUAL.PA-ALCANCE RECEBE INCREMENTO DE

```

```
1;
  SENÃO
    "EM NÃO MUDOU DE PA, MAS OS PÁS DENTRO DO ALCANCE
    SÃO DIFERENTES."
    INF-ATUAL.PA-ALCANCE = INF-NOVA.PA-ALCANCE;
  FIMSE
  REALIZA PREDIÇÃO(INF-ATUAL);
  VOLTA PARA AGUARDAR ATÉ RECEBER NOVAS INFORMAÇÕES;
FIM;

REALIZA PREDIÇÃO(INF-ATUAL)
  PREDIÇÃO-ATUAL = VAZIO;
  BUSCA NO HISTÓRICO TODAS AS TRANSIÇÕES FEITAS A PARTIR DE INF-
  ATUAL.PA-ATUAL;
  GUARDA RESULTADO DA BUSCA EM RES-TRANS-PA-ATUAL;
  SE RES-TRANS-PA-ATUAL != VAZIO;
    BUSCA EM RES-TRANS-PA-ATUAL TODAS AS TRANSIÇÕES FEITAS QUANDO
    OS PÁS NO ALCANCE ERAM INF-ATUAL.PA-ALCANCE;
    GUARDA RESULTADO EM RES-TRANS-PA-ALCANCE;
    SE RES-TRANS-PA-ALCANCE != VAZIO;
      BUSCA EM RES-TRANS-PA-ALCANCE PELO PÁ VISITADO O MAIOR
      NÚMERO DE VEZES A PARTIR DO INF-ATUAL.PA-ATUAL
      ONDE OS PONTOS DE ACESSO DENTRO DO ALCANCE ERAM
      INF-ATUAL.PA-ALCANCE;
      GUARDA O RESULTADO EM PREDICAO-ATUAL;
    FIM;
  FIM;
```

A entidade central realiza as predições e armazena os resultados, ficando pronta para responder à requisições sobre esses resultados. Dessa forma, a entidade central não interfere no funcionamento de um mecanismo que deseje pré-alocar recursos, já que sua interferência poderia gerar um impacto negativo. Por exemplo, no caso



de um mecanismo de autenticação que desejasse pré-alocar uma chave de sessão de uma EM em outros PAs, se a entidade central fosse responsável por encaminhar a chave de sessão do PA no qual a chave foi gerada para os PAs selecionados durante a predição, o processo de autenticação teria que ser reavaliado, já que a entidade central, inicialmente, não fazia parte deste processo.

Como é possível perceber através do exemplo anterior, aqueles mecanismos que desejarem utilizar os resultados das predições realizadas pela entidade central, na pré-alocação de recursos, devem possuir uma funcionalidade que permita gerar requisições para a entidade central.

### 5.3.1 Descrição da proposta de algoritmo de predição baseado em histórico

Com base nas propostas de predição utilizando histórico de movimentação estudadas e com o objetivo de alcançar uma precisão mais alta das predições, um novo algoritmo é proposto nesta seção, chamado Critério de Visão. Busca-se otimizar o desempenho desse algoritmo levando-se em consideração a posição da EM em relação a seus PAs vizinhos, durante a predição.

Com o histórico gerado a partir das informações coletadas periodicamente pelas EMs, o algoritmo realiza sua predição levando em consideração uma informação que outros algoritmos estudados não dão relevância: os PAs vizinhos à EM antes de sua transição para o novo PA. Além dos pontos de acesso entre os quais ocorreram as transições, os dados enviados pelas EMs permitem que os pontos de acesso na vizinhança também sejam considerados durante a predição.

#### Objetivo do algoritmo

- Alcançar uma precisão mais alta das predições quando comparado a outros algoritmos estudados.

### Como alcançar maior precisão

- Levando em consideração a posição da EM em relação a seus PAs vizinhos para realizar as predições.

O pseudo-código a seguir apresenta de forma detalhada o algoritmo proposto. As variáveis *em*, *pa-atual* e *visao-atual*, representam respectivamente, a estação móvel para a qual está sendo feita a predição, o PA atual da estação móvel e os PAs dentro do alcance da estação móvel.

CRITÉRIO DE VISÃO (EM, PA-ATUAL, VISAO-ATUAL)

SE VISAO-ATUAL POSSUI APENAS 1 PONTO DE ACESSO;

PA DA VISAO-ATUAL É O RESULTADO DA PREDIÇÃO;

SE NÃO;

BUSCA O REGISTRO DO PA-ATUAL NO HISTÓRICO DE MOVIMENTAÇÃO;

SE ENCONTROU;

BUSCA O REGISTRO DA VISAO-ATUAL NO HISTÓRICO DE MOVIMENTAÇÃO;

SE ENCONTROU;

IDENTIFICA PARA QUAL PA A EM PARTIU COM MAIOR FREQUÊNCIA, SENDO ESTE O RESULTADO DA PREDIÇÃO;

FIM SE;

FIM SE;

FIM SE;

FIM;

Outros algoritmos de predição registram um histórico de movimentação com basicamente o formato a seguir:

Estação móvel A:

No instante t1 estava associada ao ponto de acesso PA1.

No instante t2 estava associada ao ponto de acesso PA2.

No instante t3 estava associada ao ponto de acesso PA4.

No instante t4 estava associada ao ponto de acesso PA3.

No instante t5 estava associada ao ponto de acesso PA1.

E assim por diante.

Estação móvel B:

No instante t1 estava associada ao ponto de acesso PA2.

No instante t2 estava associada ao ponto de acesso PA4.

No instante t3 estava associada ao ponto de acesso PA2.

No instante t4 estava associada ao ponto de acesso PA1.

No instante t5 estava associada ao ponto de acesso PA3.

E assim por diante.

Enquanto o algoritmo Critério de Visão registra um histórico de movimentação com o seguinte formato:

Estação móvel A:

No instante t1 estava associada ao ponto de acesso PA1 e os seguintes pontos de acesso estavam no seu alcance: PA2, PA3.

No instante t2 estava associada ao ponto de acesso PA2 e os seguintes pontos de acesso estavam no seu alcance: PA1, PA4, PA5.

No instante t3 estava associada ao ponto de acesso PA4 e os seguintes pontos de acesso estavam no seu alcance: PA2, PA3.

No instante t4 estava associada ao ponto de acesso PA3 e os seguintes pontos de acesso estavam no seu alcance: PA1.

No instante t5 estava associada ao ponto de acesso PA1 e os seguintes pontos de acesso estavam no seu alcance: PA3.

E assim por diante.

Usando os pontos de acesso no alcance da estação móvel como referência, é possível explorar a posição relativa da estação em relação aos pontos de acesso. Permite avaliar melhor, por exemplo, casos nos quais uma estação móvel "A" associada a um ponto de acesso PA1 tenha passado para o PA2 e PA3, 80% e 20% das vezes que realizou o *handover*, respectivamente. Sendo que a estação móvel tinha em seu alcance PA2, PA3 e PA4 quando passou para PA2 e os pontos de acesso PA2, PA3 e

PA5 quando passou para PA3. Neste exemplo, da próxima vez que a estação móvel estiver associada ao PA1, apesar de ter passado a maioria das vezes para PA2, caso tenha em seu alcance os pontos de acesso PA2, PA3 e PA5, a análise do histórico mostraria que, em todas as vezes que estes pontos de acesso (PA2, PA3 e PA5) estiveram no alcance, a estação realizou o *handover* para PA3.

## 5.4 Pré-alocação de recursos

Através da pré-alocação de recursos busca-se minimizar os efeitos da transição entre pontos de acesso. De um modo geral, essa antecipação pode garantir tempos menores para o restabelecimento completo da conexão dos usuários da rede sem fio.

Entretanto, a pré-alocação implica em uma maior utilização dos recursos computacionais disponíveis no ambiente de rede. Existe um compromisso entre os benefícios obtidos com a pré-alocação e a quantidade de recursos computacionais envolvidos nesse processo.

As predições devem ser utilizadas para garantir a melhor utilização dos recursos computacionais durante a pré-alocação. Porém, a pré-alocação deve ser efetivamente realizada pelo próprio serviço ou mecanismo, que deseja se beneficiar.

O mecanismo de predição proposto nesse trabalho não deve realizar a pré-alocação de recursos, mas sim, deve tornar disponíveis os resultados das predições realizadas. Dessa maneira, espera-se um menor impacto no funcionamento dos serviços ou mecanismo, que almejem pré-alocar recursos, já que nossa proposta não interfere diretamente em seu funcionamento.

Na próxima seção, estão definidas as mensagens que devem ser utilizadas para as requisições de resultados de predições.

## 5.5 Detalhamento das mensagens

Nessa seção serão mostradas as mensagens que são trocadas entre as EM, os PAs e a Entidade Central. O significado de cada campo que compõem as mensagens será explicado detalhadamente.

Além das mensagens comentadas na seção 6.1, serão apresentadas as mensagens utilizadas pela Entidade Central para se comunicar com um mecanismo que deseja se beneficiar dos resultados de suas predições. Essas novas mensagens não estão ligadas às funcionalidades de coleta de dados sobre os PAs, ao envio das informações sobre PAs para entidade central, nem à criação do histórico de movimentação a partir dessas informações. Estas são mensagens definidas para permitir a requisição e o envio de respostas a respeito de predições realizadas.

### 5.5.1 Mensagem *LISTA-PA*

Esta é a mensagem enviada por uma EM para o PA ao qual está associada após realizar o rastreamento ativo dos pontos de acesso capaz de alcançar. O PA que receber a mensagem, conhece o endereço da Entidade Central para a qual ela deve ser encaminhada. Sendo assim, sem que a mensagem original seja alterada, o PA a retransmite para a Entidade Central.

A seguir estão descritos os campos da mensagem e suas funcionalidades:

Mensagem *LISTA-PA*

- Campo MSG-ID: Identificador da mensagem, contendo o valor *LISTA-PA*. Possui o tamanho fixo de 8 bytes.
- Campo EM-ID: A própria EM deve armazenar seu identificador neste campo. Considerando que o histórico de movimentação deve representar o perfil de mobilidade de um determinado indivíduo, esse campo deve guardar o nome de um usuário. Possui o tamanho máximo de 20 bytes.
- Campo PA-atual: Nesse campo, o endereço MAC do ponto de acesso ao qual

a EM está atualmente associada deve ser armazenado. Possui o tamanho de 17 bytes.

- Campo Quantidade-PA-alcance: Utilizado para indicar a quantidade de endereços MAC dos PAs incluídos na lista sendo enviada. Possui o tamanho de 2 bytes.
- Campo MAC-PA-ALCANCE: Nesse campo são armazenados os endereços MAC dos pontos de acesso encontrados durante o rastreamento ativo. A quantidade de endereços é indicada pelo campo Quantidade-PA-alcance da mensagem. Esse campo possui o tamanho de 17 bytes multiplicados pela quantidade de endereços sendo enviados na lista. Assim, quanto maior a quantidade de PA encontrados em um rastreamento ativo, maior será o espaço ocupado na mensagem por esse campo.
- Campo EOF: Destinado apenas para indicar o final exato da mensagem. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.

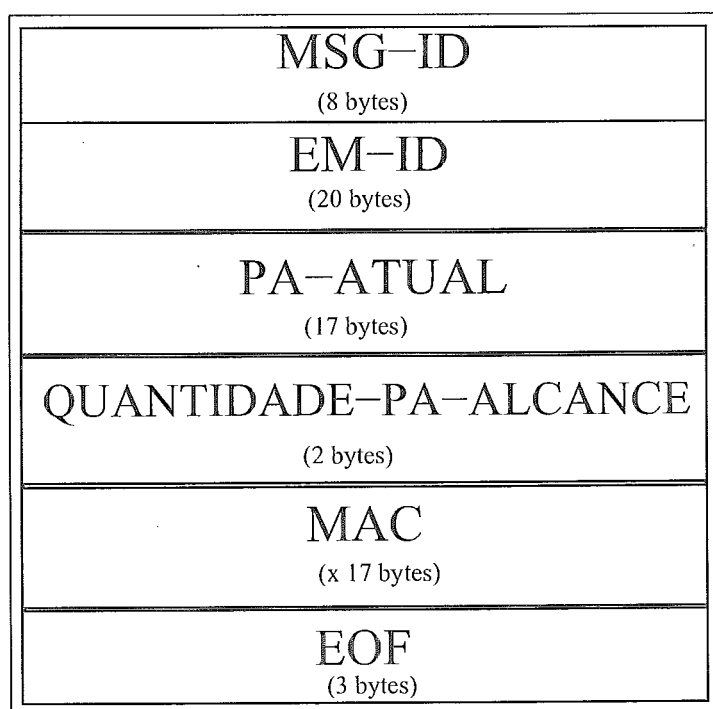


Figura 5.2: Formato da mensagem *LISTA-PA*.

Essa mensagem é enviada pela EM sempre que o resultado do rastreamento ativo for diferente do último rastreamento realizado, ou seja, o rastreamento ativo é realizado periodicamente pela EM, mas o seu resultado é transmitido através da rede sem fio apenas quando necessário. Esse procedimento visa diminuir a utilização do meio físico por parte do mecanismo. É importante que a frequência com a qual o rastreamento ativo é executado seja suficiente para permitir que todos os pontos de acesso que entrarem no alcance da EM sejam rastreados, o que depende da velocidade com a qual a EM se movimenta.

### 5.5.2 Mensagem *LISTA-PA-ENC*

A mensagem *LISTA-PA-ENC* corresponde a uma cópia da mensagem *LISTA-PA*, a qual é retransmitida pelo PA atual da EM para a Entidade Central. Sendo assim, o formato das duas mensagens é idêntico, tendo apenas o destino como diferença entre elas, pois essa mensagem tem como destino a Entidade Central.

### 5.5.3 Mensagem *LISTA-OK*

A mensagem *LISTA-OK* é enviada como resposta após o recebimento correto de uma lista com endereços de pontos de acesso, podendo ser a resposta para duas mensagens diferentes. Pode ser uma resposta do PA para uma EM, indicando que o *LISTA-PA* foi recebida corretamente ou, pode ser uma resposta da Entidade Central para um PA, indicando que a *LISTA-PA-ENC* foi recebida corretamente.

Seu formato é simples, como pode ser visto a seguir:

Mensagem *LISTA-OK*

- Campo MSG-ID: Identificador da mensagem, contendo o valor *LISTA-OK*. Informa ao outro lado da conexão que a lista de PAs foi recebida corretamente. Possui o tamanho fixo de 8 bytes.
- Campo EOF: Destinado apenas para indicar o final exato da mensagem. Possui

o tamanho fixo de 3 bytes.

#### 5.5.4 Mensagem *Requisição*

Essa mensagem foi definida para permitir que a predição realizada pela Entidade Central possa ser acessada por outros mecanismos da rede. Através dela é possível solicitar o resultado da predição realizada para uma determinada EM. Considerando o caso de um mecanismo de autenticação, o qual estabelece uma chave de sessão que se deseja pré-alocar, uma requisição poderia ser enviada por ele para a Entidade Central e sua resposta contendo o resultado da predição, quando disponível, poderia ser utilizada para identificar os locais onde pré-alocar as chaves de sessão.

Os campos que compõem essa mensagem e o significado de cada um podem ser vistos a seguir:

##### Mensagem *Requisição*

- Campo MSG-ID: Identificador da mensagem de requisição de predições, contendo o valor *REQ*. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.
- Campo EM-ID: Utilizado para armazenar o identificador da EM. Considerando que o histórico de movimentação deve representar o perfil de mobilidade de um determinado indivíduo, esse campo deve guardar o identificador de um usuário. Possui o tamanho máximo de 20 bytes.
- Campo EOF: Destinado apenas para indicar o final exato da mensagem. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.

#### 5.5.5 Mensagem *Resposta*

Essa é a mensagem enviada pela Entidade Central como resposta à requisição feita por algum mecanismo que deseja acessar as predições para uma determinada EM. Mais uma vez, considerando um mecanismo de autenticação que deseja realizar



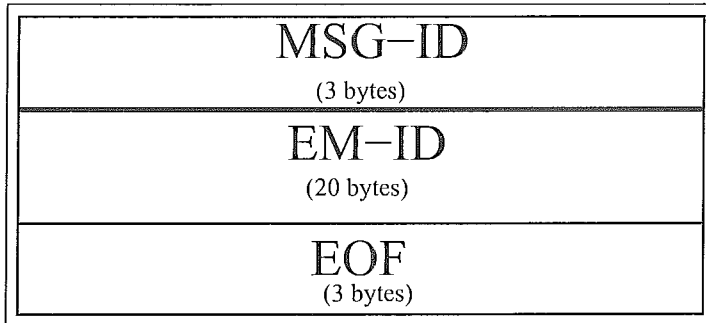


Figura 5.3: Formato da mensagem *Requisição*.

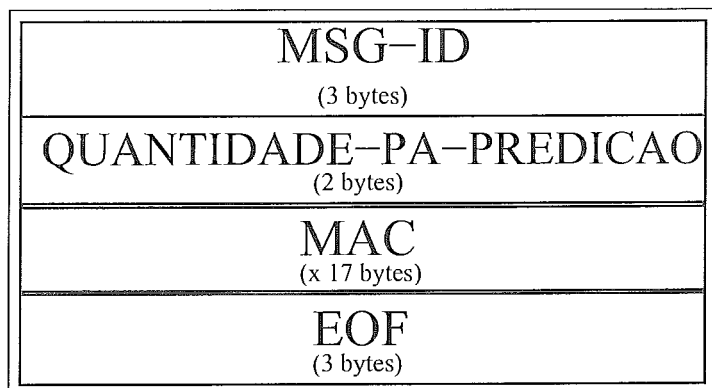
a pré-alocação de chaves de sessão, o conteúdo da mensagem *Resposta* indica onde a pré-alocação deve ser feita.

#### Mensagem *Resposta*

- Campo MSG-ID: Identificador da mensagem de resposta à requisições sobre predições, contendo o valor *REP*. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.
- Campo Quantidade-PA-predição: Utilizado para indicar a quantidade de endereços MAC sendo enviados na resposta. Possui o tamanho de 2 bytes.
- Campo MAC-PA-PREDIÇÃO: Utilizado para armazenar os endereços MAC dos pontos de acesso estimados durante a predição realizada pela Entidade Central. A quantidade de endereços é indicada pelo campo Quantidade-PA-predição da mensagem. Esse campo possui o tamanho de 17 bytes multiplicados pela quantidade de endereços sendo enviados.
- Campo EOF: Destinado apenas para indicar o final exato da mensagem. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.

#### 5.5.6 Mensagem *Pré-alocar*

Ao contrário das mensagens apresentadas nas seções anteriores, esta mensagem envolve apenas os mecanismos que desejam realizar a pré-alocação de recursos. Após ter obtido o resultado da predição através de uma requisição enviada para a Entidade

Figura 5.4: Formato da mensagem *Resposta*.

Central, um mecanismo de autenticação, por exemplo, pode enviar uma mensagem *Pré-alocar* para cada um dos endereços indicados no resultado da predição. Nesse caso, o recurso sendo enviado para ser pré-alocado através da mensagem deveria ser uma chave de sessão.

#### Mensagem *Pré-alocar*

- Campo MSG-ID: Identificador da mensagem de requisição para a pré-alocação de recursos, contendo o valor *PRE*. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.
- Campo EM-ID: Utilizado para armazenar o identificador da EM. Considerando que o histórico de movimentação deve representar o perfil de mobilidade de um determinado indivíduo, esse campo deve guardar o identificador de um usuário. Possui o tamanho máximo de 20 bytes.
- Campo RECURSO: Utilizado para armazenar o recurso que está sendo enviado para ser pré-alocado. O tamanho deste campo é variável de acordo com o recurso que se deseja pré-alocar.
- Campo EOF: Destinado apenas para indicar o final exato da mensagem. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.

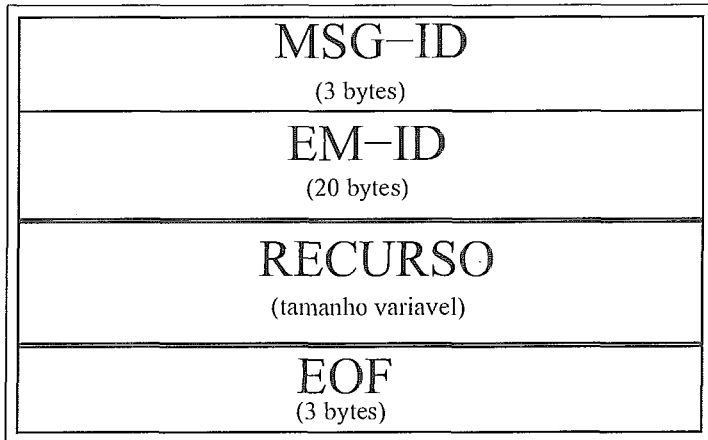


Figura 5.5: Formato da mensagem *Pré-alocar*.

### 5.5.7 Mensagem *PRE-OK*

A mensagem *PRE-OK* é enviada como resposta após o recebimento correto de uma mensagem *Pré-alocar*.

Possui apenas um campo como pode ser visto a seguir:

Mensagem *PRE-OK*

- Campo MSG-ID: Identificador da mensagem, contendo o valor *PRE-OK*. Informa ao outro lado da conexão que o pedido de pré-alocação foi recebido e o recurso pré-alocado corretamente. Possui o tamanho fixo de 6 bytes.
- Campo EOF: Destinado apenas para indicar o final exato da mensagem. Possui o tamanho fixo de 3 bytes.

## 5.6 Exemplo do funcionamento

Nesta seção, o funcionamento do mecanismo proposto será ilustrado através de um exemplo que tem como cenário o ambiente visto na Figura 5.6. Neste ambiente podem ser vistos 6 pontos de acesso A, B, C, D, E e F. Os círculos tracejados representam as áreas de cobertura de cada ponto de acesso, todos eles possuem o mecanismo proposto instalado. Uma Entidade Central deve ser considerada, com a

qual todos os pontos de acesso são capazes de se comunicar através de uma LAN. O boneco representa uma EM que percorre o cenário passando pela área de cobertura dos diferentes pontos de acesso, mudando sua associação de acordo com seu trajeto.

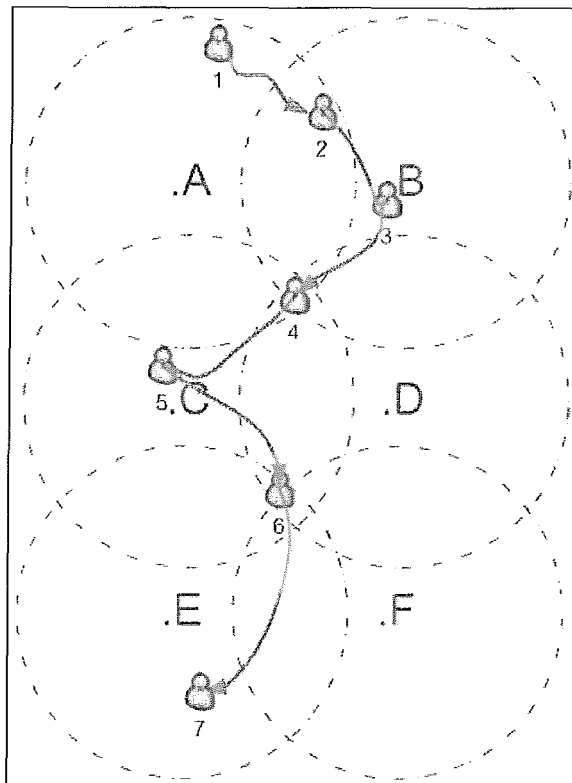


Figura 5.6: Exemplo de funcionamento.

A ordem dos pontos de acesso nos quais a EM se associa, de acordo com seu trajeto, é a seguinte: A, B, C e E. Isso significa que neste exemplo ocorrem 3 *handovers*: o primeiro de A para B, o segundo de B para C e o último de C para E.

Considere que um mecanismo de autenticação qualquer está sendo executado em cada ponto de acesso. Quando a EM realiza sua autenticação em um dos PAs uma chave de sessão é gerada, essa chave de sessão é o recurso que deve ser pré-alocado de acordo com as predições realizadas pela Entidade Central. Sendo assim, também deve ser considerado que o mecanismo de autenticação utilizado é capaz de realizar requisições para a Entidade Central a respeito de predições para a EM. As últimas considerações a serem feitas são o fato de que um histórico de movimentação para a EM desse exemplo já havia sido formado previamente, e que a comunicação entre

os pontos de acesso é feita de forma segura através da LAN. Para isso, uma rede privada virtual (VPN - *Virtual Private Network*) poderia estar sendo utilizada.

A posição 1 da EM corresponde ao momento que a autenticação é realizada entre ela e o ponto de acesso A. Tendo realizado uma autenticação bem sucedida a EM inicia o rastreamento ativo a procura por pontos de acesso em sua área de cobertura. Ainda na posição 1, apenas o ponto de acesso A pode ser encontrado, sendo assim, nenhuma informação sobre o rastreamento é transmitida.

No momento em que a EM atinge a posição 2, o ponto de acesso B pode ser encontrado durante o rastreamento ativo. O resultado do rastreamento é transmitido para o ponto de acesso ao qual a EM está associada, o ponto de acesso A. O ponto de acesso A, por sua vez, transmite o resultado do rastreamento para a Entidade Central.

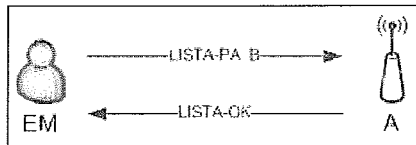


Figura 5.7: Envio do resultado do rastreamento.

Assim que a EM realizou a autenticação válida em A, o serviço de autenticação iniciou suas requisições para a Entidade Central a respeito de predições para a EM. Considerando o último resultado do rastreamento ativo realizado pela EM na posição 2, a resposta enviada pela Entidade Central à requisição feita pelo serviço de autenticação indica o ponto de acesso B como próximo. O resultado dessa predição já era esperado. Como explicado anteriormente, o mecanismo proposto se beneficia do fato de saber quais são os pontos de acesso no alcance da EM, sendo capaz de perceber quando a EM possui apenas um destino possível, como nesse caso.

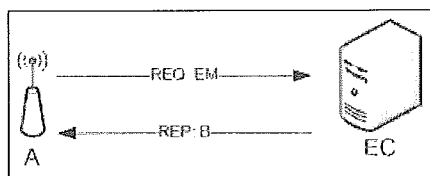


Figura 5.8: Envio de requisição de predição.

Ao receber a resposta da Entidade Central, A pré-aloca a chave de sessão em B, de acordo com a predição realizada.

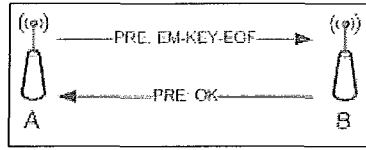


Figura 5.9: Pré-alocação de chave de sessão.

Na posição 3, a EM realiza a reautenticação no ponto de acesso B, se beneficiando do fato da chave de sessão estabelecida anteriormente ter sido pré-alocada com antecipação. Sendo uma reautenticação bem sucedida, o serviço de autenticação em B está pronto para iniciar suas requisições sobre predição a respeito da EM.

A EM nesse momento passa a transmitir o resultado do rastreamento ativo para B, no qual encontra-se atualmente associada. Quando a Entidade Central recebe a requisição enviada por B, percebe que a EM transitou do antigo ponto de acesso A para o novo B. Então, envia uma mensagem para que A interrompa suas requisições de predição.

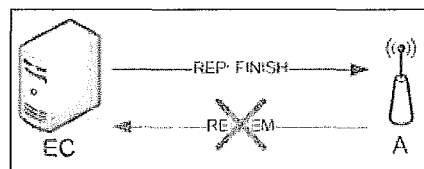


Figura 5.10: Interrupção das requisições de predição feitas por A sobre a EM.

Na posição 4, a EM ainda encontra-se associada ao ponto de acesso B. O resultado do rastreamento ativo nessa posição mostra A, C e D em seu alcance. Esse resultado é transmitido para B que, então, o retransmite para a Entidade Central.

De acordo com esse último resultado do rastreamento enviado pela EM, a predição feita pela Entidade Central poderia indicar um ou mais desses pontos de acesso como próximo, desde que a ocorrência de *handovers* entre os pontos de acesso tenha a mesma quantidade. Sendo assim, vamos considerar que o resultado da predição indique os pontos de acesso C e D. Quando a Entidade Central responder a requisição de B, a chave de sessão será transmitida de B para os outros dois pontos de

acesso.

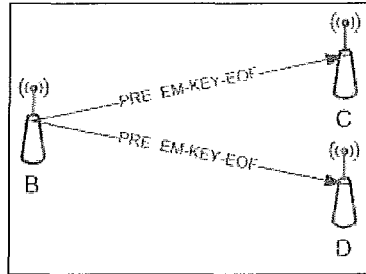


Figura 5.11: Pré-alocação de chave de sessão em C e D.

Ao chegar na posição 5, a EM realiza uma reautenticação em C, se beneficiando do fato da chave de sessão ter sido previamente alocada em C. Nas duas próximas posições marcadas no cenário, 6 e 7, o funcionamento descrito seria semelhante ao das posições 4 e 5, respectivamente.

# Capítulo 6

## Simulações

O mecanismo proposto foi descrito no capítulo anterior. O novo algoritmo de predição utilizado pelo mecanismo, detalhes sobre as mensagens definidas para seu funcionamento e um exemplo de como ocorreria a troca dessas mensagens, também foram apresentados. Nesse capítulo são apresentados os detalhes sobre as simulações realizadas para a avaliação do algoritmo de predição proposto. Os resultados das simulações são comentados na seção 6.5 e podem ser vistos através das figuras 6.1 até 6.6.

### 6.1 Objetivo

As simulações foram realizadas com o objetivo de avaliar 3 algoritmos de predição. Os algoritmos Critério de Localização e Critério de Direção foram implementados segundo as definições de [4]. Apesar de existirem outras propostas de predição como as discutidas no capítulo 4, os algoritmos definidos em [4] foram os escolhidos pois permitiram a comparação do Critério de Visão com dois algoritmos avaliados dentro de um mesmo cenário de simulação apresentado em [4]. O Critério de Direção foi escolhido por ter atingido o mais alto percentual de predições corretas, segundo a avaliação do autor. O Critério de Localização foi utilizado por ter obtido um percentual de predições corretas baixo, o que nós permitiria uma comparação



dos algoritmos em nossas simulações não apenas com o de melhor desempenho, mas também com um de baixo desempenho em função das previsões corretas. O terceiro algoritmo implementado foi a nossa proposta, o algoritmo Critério de Visão.

## 6.2 Cenário

As simulações foram realizadas utilizando as ferramentas Sceugen [8] e Ad-hockey [30], sendo que a segunda ferramenta foi alterada para permitir a representação da topologia de uma rede infra-estruturada com o número de pontos de acesso desejado. Os cenários utilizados possuem as seguintes características:

- 6 e 16 Pontos de Acesso.
- Alcance da transmissão de 40 m.
- 30 Estações Móveis.
- Velocidade Máxima de 3 m/s.
- Área de cobertura de 97m X 127m e 170m X 165m, para 6 APs e 16 APs, respectivamente.
- Modelos de Mobilidade [31]: *Waypoint*, *Smooth* e MMIG.
- Tempo de simulação: 25200 s.
- Rastreamento ativo feito pela EM a cada 2 s.

A velocidade foi definida entre 0 e 3 m/s, com o objetivo de representar a movimentação de pessoas caminhando sem o auxílio de nenhum meio de transporte.

A área de simulação foi definida baseando-se na premissa de que toda área estivesse coberta pelos PAs, para que as transições das EMs não ocorressem para áreas descobertas, o que poderia influenciar os resultados negativamente, mesmo tratando-se de casos em que a previsão não seria útil, pois as EMs estariam deixando a área da rede sem fio.

O tamanho utilizado é relativo ao alcance de transmissão dos PAs, que foi definido como 40 m, tendo como base características de equipamentos reais. Por esse motivo, as áreas utilizadas nas simulações foram definidas como 97m X 127m e 170m X 165m, para simulações com 6 e 16 pontos de acesso, respectivamente.

A frequência com que o rastreamento ativo é executado, pode ser definida em função da velocidade com a qual as EMs se movimentam no cenário. Para velocidades entre 0 e 3 m/s, o rastreamento com a frequência de 2 segundos foi considerado adequado.

O rastreamento ativo executado pelas EMs, identifica todos os pontos de acesso que estejam dentro de seu alcance de transmissão. Ou seja, todos os PAs a uma distância menor ou igual a 40 metros. Considerando a EM associada àquele PA do qual estiver mais próxima.

## 6.3 Detalhes sobre os modelos de mobilidade utilizados

Como o mecanismo proposto neste trabalho tem como objetivo realizar previsões influenciadas diretamente pelo perfil de movimentação das EMs, 3 modelos diferentes foram utilizados. São eles:

### Modelo *Random Waypoint*:

No modelo *Random Waypoint* [31], a disposição inicial dos dispositivos móveis é realizada de forma aleatória de acordo com uma distribuição uniforme. O dispositivo também obedece a um tempo de pausa, que determina o tempo que ele deve permanecer parado. Além das posições para onde os dispositivos devem se mover, a velocidade do movimento também é escolhida segundo uma distribuição uniforme.

### Modelo *Smooth*:

O modelo de mobilidade *Smooth* [31] realiza as mudanças de velocidade de acordo com acelerações e desacelerações, que geram movimentos mais suaves quando com-

parados ao gerados pelo modelo *Random Waypoint*. Ao contrário do modelo *Random Waypoint*, esse modelo não escolhe uma nova posição para os dispositivos, mas sim uma direção a ser seguida.

#### Modelo *MMIG*:

O modelo *MMIG* [32], utiliza uma cadeia de Markov discreta para guiar a movimentação dos dispositivos móveis. Gera mudanças de direção mais suaves que as apresentadas pelo modelo *Smooth*.

## 6.4 Métrica

A métrica utilizada para a avaliação dos algoritmos é o percentual de acertos das predições, ou seja, o total de vezes que o algoritmo de predição indicou um PA como sendo o próximo a ser visitado por uma EM, e essa EM realmente realizou a transição para o PA indicado.

Os resultados das simulações foram obtidos da seguinte maneira:

Foram utilizados 10 arquivos (trace) de registro de movimentação diferentes para cada modelo de mobilidade. Desta forma, cada cenário foi executado 10 vezes.

Para um determinado modelo de mobilidade, ao final de cada uma das 10 rodadas, o percentual de predições corretas foi calculado. O percentual final de predições corretas, para um determinado modelo de mobilidade, foi obtido a partir da média dos percentuais de predições corretas nas 10 rodadas.

O mesmo procedimento foi realizado para cada um dos modelos de mobilidade.

## 6.5 Resultados Obtidos

Os resultados das simulações com o modelo de mobilidade *Random Waypoint* podem ser vistos através da Figura 6.1. Por gerar movimentos aleatórios que prejudicam as predições, o percentual de predições corretas foi o mais baixo comparado

aos encontrados utilizando-se os outros modelos. Foram obtidos os valores de 46%, 49% e 66% para o Critério de Localização, Critério de Direção e Critério de Visão, respectivamente.

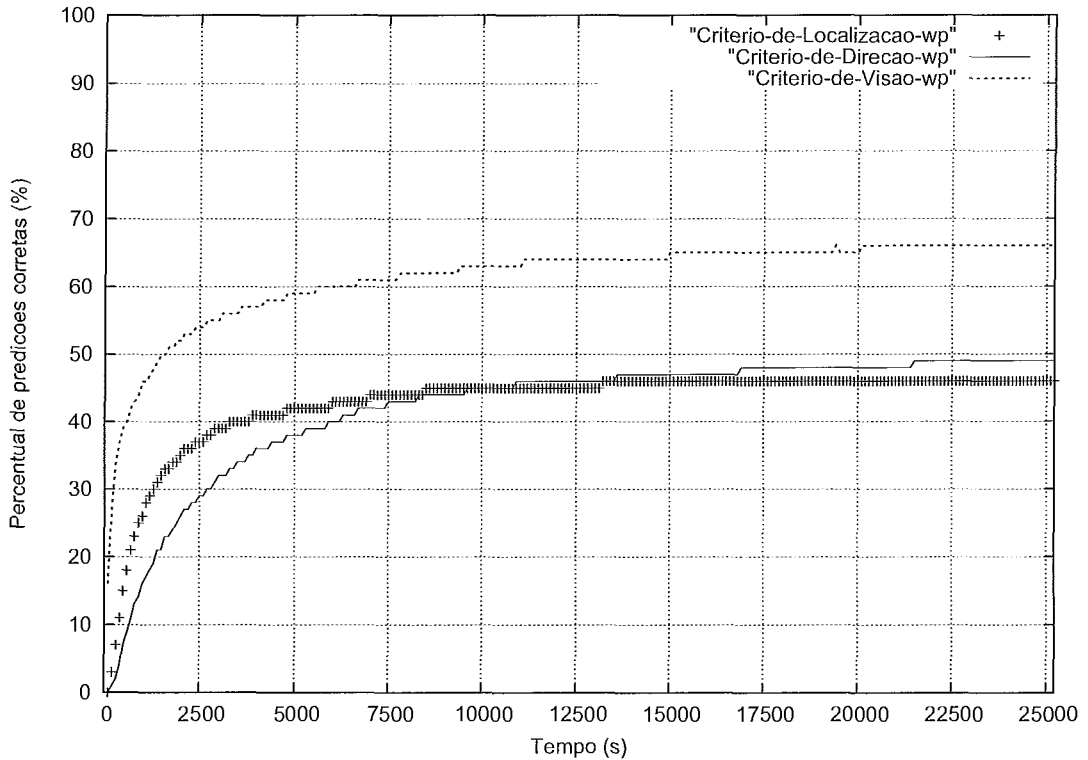


Figura 6.1: Percentual de acerto utilizando o modelo Waypoint com 6 PAs.

No início da simulação, o percentual de acertos foi baixo para todos os algoritmos, isso aconteceu porque o histórico de movimentação precisa de tempo para se formar. Conforme o tempo de simulação aumenta, é possível perceber maiores valores para o percentual de acertos das predições.

O percentual de acertos para o modelo de mobilidade MMIG apresentou resultados melhores do que os apresentados pelo modelo *Random Waypoint*, pois esse modelo representa um perfil de mobilidade com movimentos que permitem identificar padrões através do histórico de movimentação das EMs. Como é possível ver na Figura 6.2, o percentual de acertos para o algoritmo Critério de Visão apresentou um valor mais alto do que os apresentados pelos algoritmos Critério de Localização e Critério de Direção, com os valores de 78%, 47% e 53%, respectivamente.

Os resultados obtidos utilizando-se o modelo de mobilidade *Smooth* apresenta-

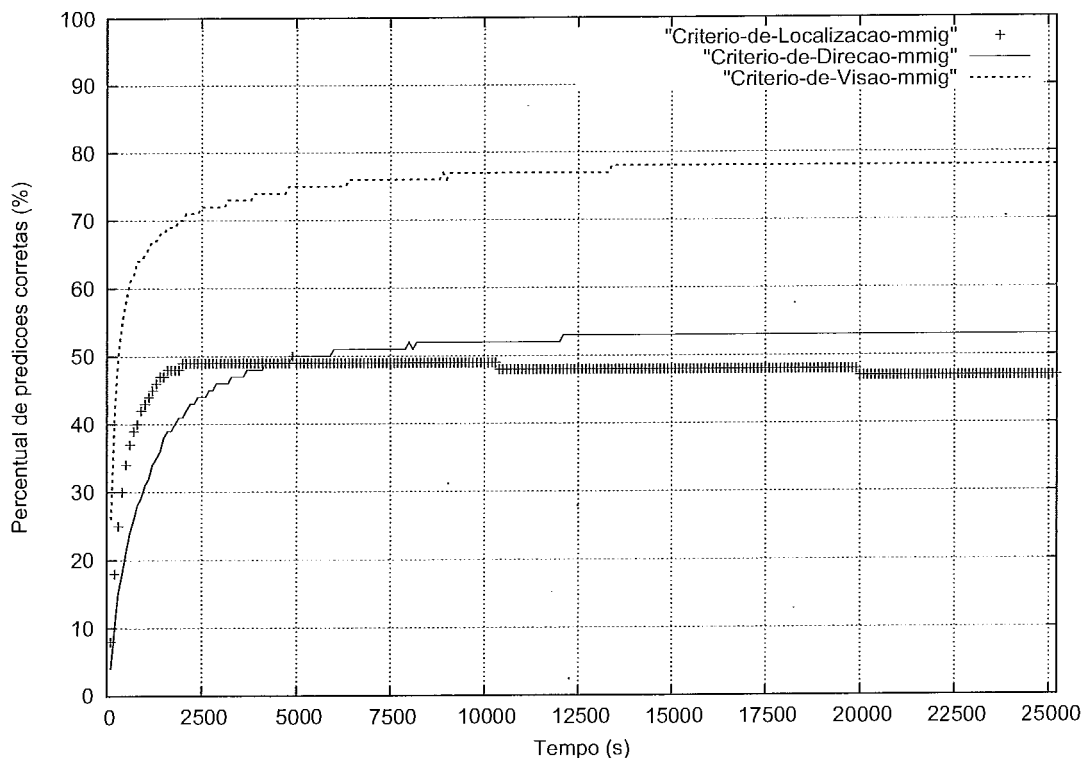


Figura 6.2: Percentual de acerto utilizando o modelo MMIG com 6 PAs.

ram valores semelhantes aos obtidos com o modelo de mobilidade MMIG para os algoritmos Critério de Localização e Critério de Visão. Porém, para o algoritmo Critério de Direção houve uma melhora do percentual de acertos. Como pode ser visto através da Figura 6.3, os valores obtidos para a média do percentual de acertos foram 48%, 62% e 78%, para os algoritmos Critério de Localização, Critério de Direção e Critério de Visão, respectivamente.

O algoritmo proposto, Critério de Visão, obteve o melhor percentual de acertos nesse cenário específico de simulação. Uma das razões para isso acontecer é o fato de nosso algoritmo se basear nas informações obtidas através de um mecanismo que permite saber quais são os PAs dentro do alcance periodicamente, e em casos nos quais apenas um PA encontrar-se no alcance, além do PA atual, ser esse o indicado na predição.

As simulações com cenários com 16 PAs presentes, apresentaram percentuais de predições corretas mais baixos do que os obtidos nas simulações com 6 PAs. Isso pode ser explicado pela quantidade maior de pontos de acesso desconhecidos, ou

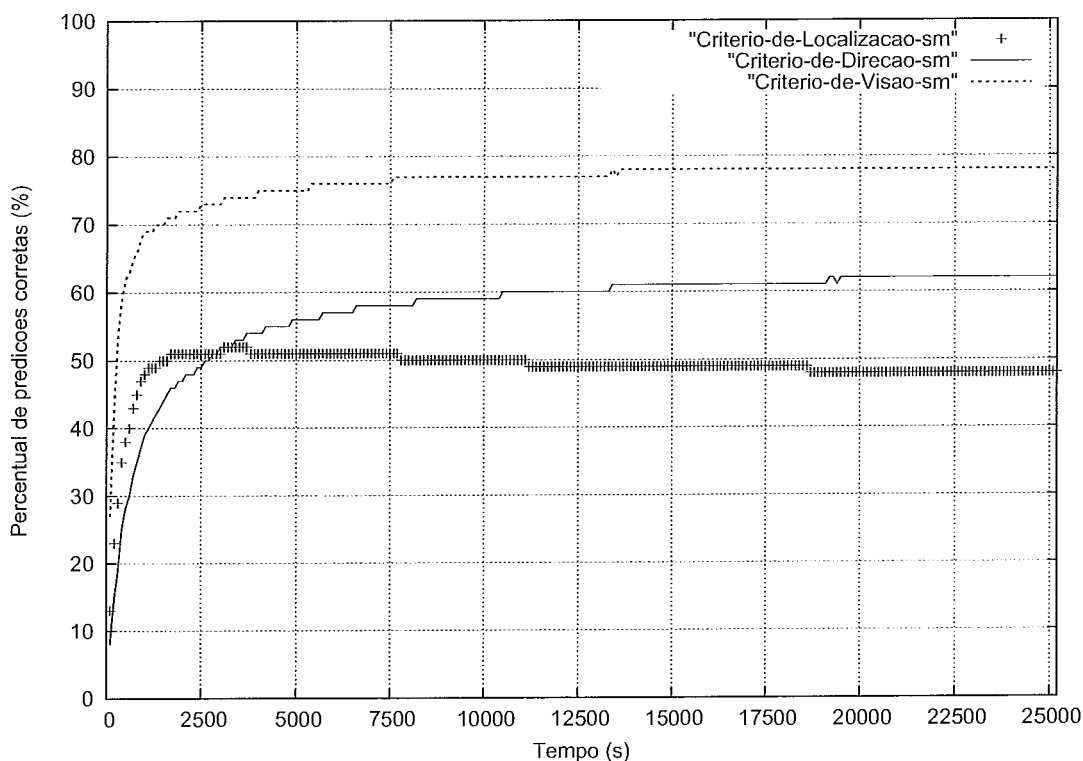


Figura 6.3: Percentual de acerto utilizando o modelo Smooth com 6 PAs.

seja, as EMs transitam por uma quantidade maior de novos pontos de acesso. Cada novo PA corresponde a uma área ainda desconhecida pelos algoritmos, sendo assim, o maior número de PAs implica em um período maior de tempo para que as EMs transitem por suas áreas de cobertura.

No cenário descrito no parágrafo anterior, no qual a quantidade de PAs foi aumentada de 6 para 16, todos os algoritmos apresentaram desempenhos mais baixos, para cada um dos modelos de mobilidade utilizados. Porém, a relação entre seus percentuais de acertos se mantiveram. Os valores obtidos em todas as simulações podem ser observados na Tabela 6.1. Segundo a *Distribuição t* de *Student* foi obtido o nível de confiança de 95% dos percentuais de acertos estarem nos intervalos mostrados a seguir:

Critério de Localização com 6 PAs:

- $[46,21 \cdot 46,69 \cdot 47,16]$  : modelo de mobilidade Waypoint;
- $[47,58 \cdot 47,78 \cdot 47,97]$  : modelo de mobilidade MMIG;

- [48,33 < 48,56 < 48,79] : modelo de mobilidade Smooth;

Critério de Direção com 6 PAs:

- [48,48 < 49,31 < 50,14] : modelo de mobilidade Waypoint;
- [53,69 < 53,93 < 54,16] : modelo de mobilidade MMIG;
- [62,29 < 62,53 < 62,77] : modelo de mobilidade Smooth;

Critério de Visão com 6 PAs:

- [65,84 < 66,47 < 67,11] : modelo de mobilidade Waypoint;
- [78,59 < 78,82 < 79,04] : modelo de mobilidade MMIG;
- [78,68 < 78,94 < 79,20] : modelo de mobilidade Smooth;

Critério de Localização com 16 PAs:

- [35,20 < 35,70 < 36,19] : modelo de mobilidade Waypoint;
- [39,51 < 39,68 < 39,85] : modelo de mobilidade MMIG;
- [40,41 < 40,64 < 40,87] : modelo de mobilidade Smooth;

Critério de Direção com 16 PAs:

- [35,33 < 36,18 < 37,02] : modelo de mobilidade Waypoint;
- [43,54 < 43,73 < 43,91] : modelo de mobilidade MMIG;
- [50,66 < 50,91 < 51,15] : modelo de mobilidade Smooth;

Critério de Visão com 16 PAs:

- [46,49 < 47,21 < 47,93] : modelo de mobilidade Waypoint;
- [62,83 < 63,03 < 63,29] : modelo de mobilidade MMIG;

Tabela 6.1: Percentual de predições corretas para 6 e 16 PAs.

Algoritmo	Quantidade de PAs	Waypoint (%)	MMIG (%)	Smooth (%)
Critério de Localização	6	46,69	47,78	48,56
Critério de Direção	6	49,31	53,93	62,53
Critério de Visão	6	66,47	78,82	78,94
Critério de Localização	16	35,7	39,68	40,64
Critério de Direção	16	36,18	43,73	50,91
Critério de Visão	16	47,21	63,06	62,17

- [61,86 - 62,17 - 62,48] : modelo de mobilidade Smooth;

As figuras 6.4, 6.5 e 6.6, mostram o comportamento do percentual de acertos ao longo das simulações com 16 pontos de acesso, para os 3 algoritmos, utilizando os modelos de mobilidade *Waypoint*, MMIG e *Smooth*, respectivamente.

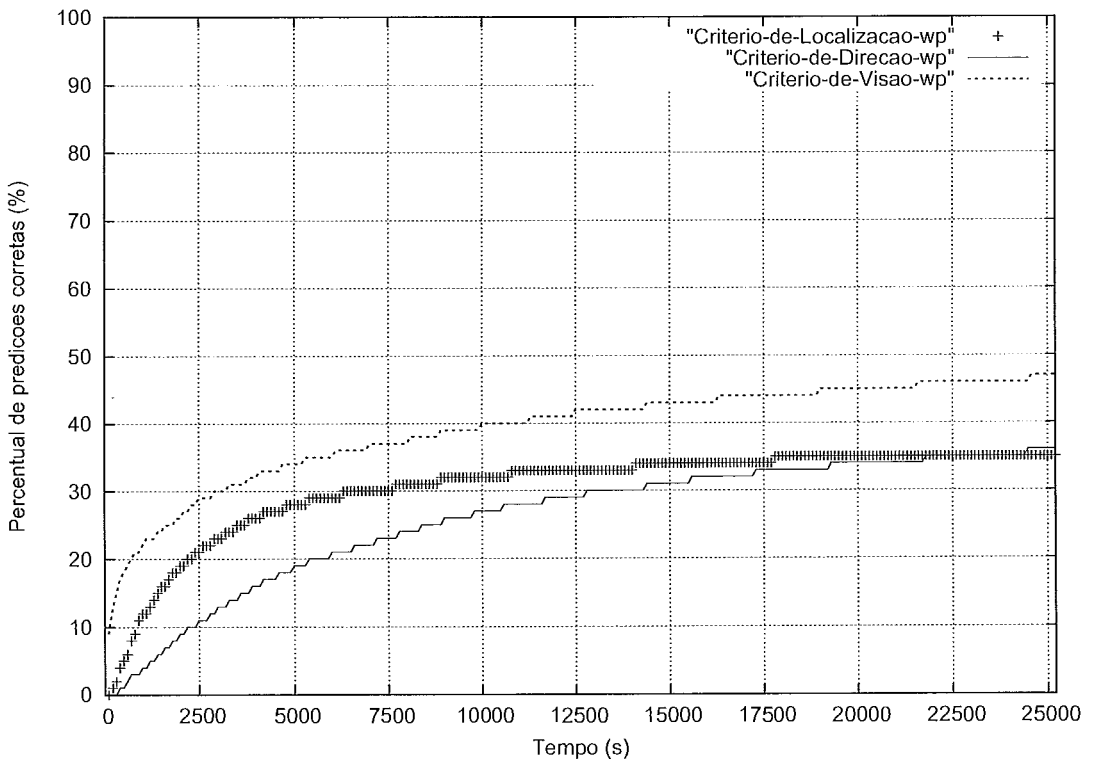


Figura 6.4: Percentual de acerto utilizando o modelo Waypoint com 16 PAs.



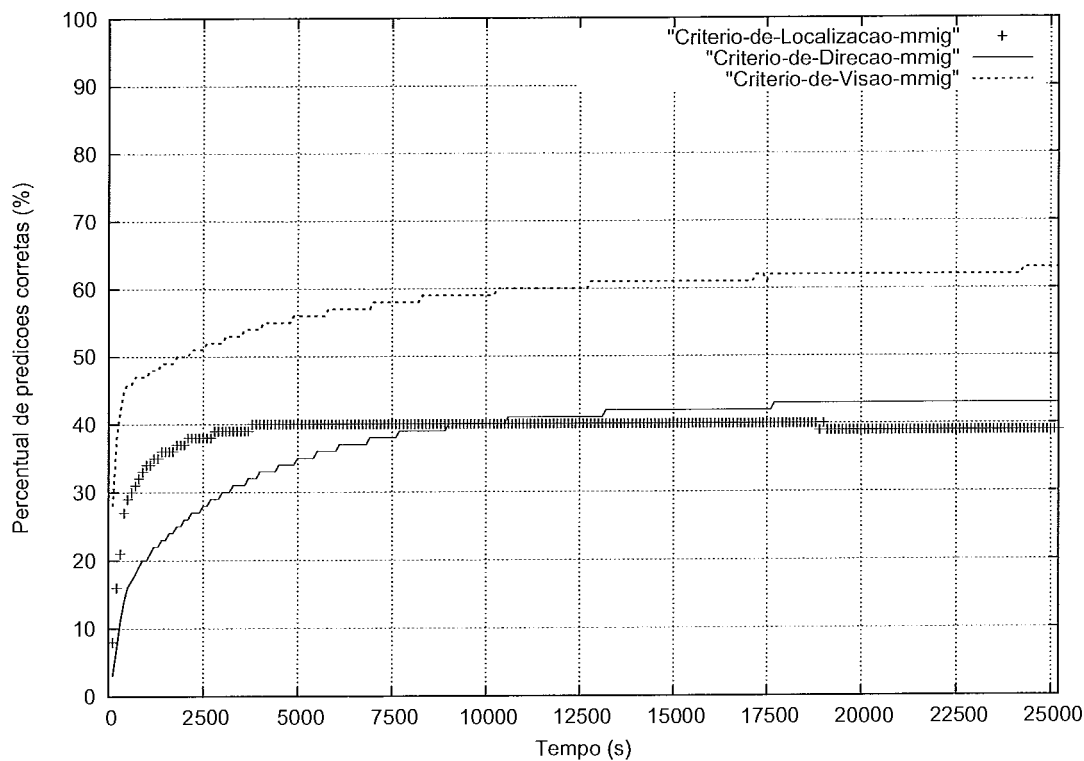


Figura 6.5: Percentual de acerto utilizando o modelo MMIG com 16 PAs.

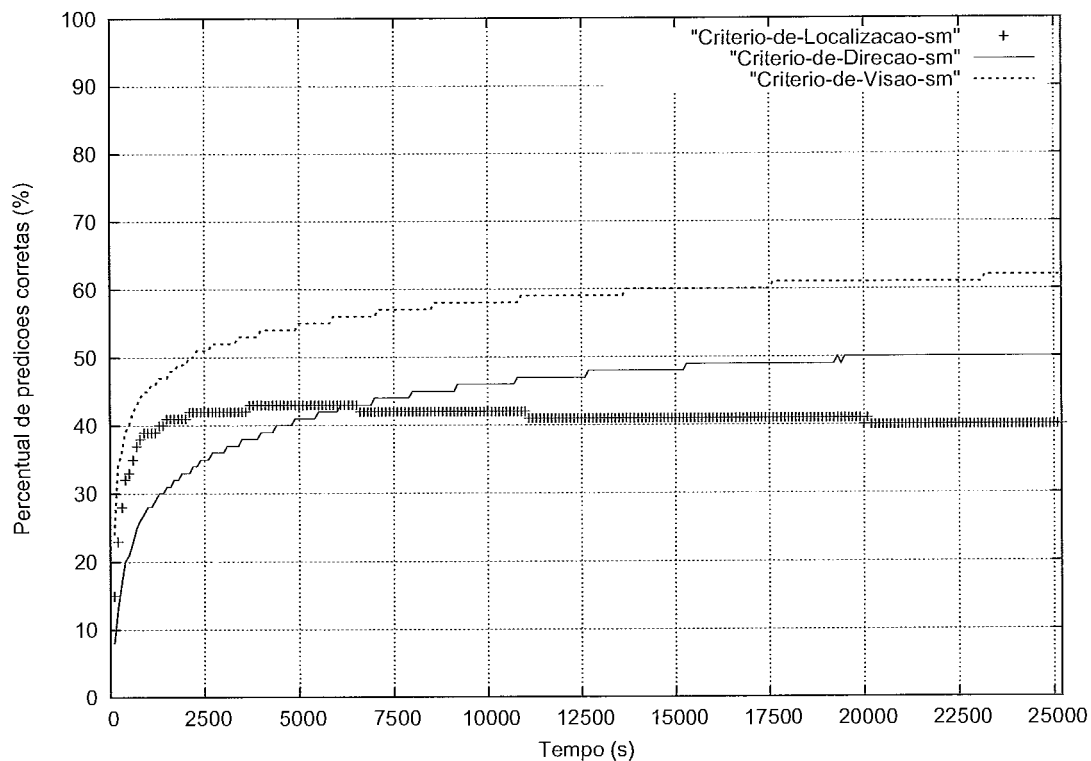


Figura 6.6: Percentual de acerto utilizando o modelo Smooth com 16 PAs.

Os resultados das simulações mostraram que o algoritmo Critério de Visão possui um desempenho superior em relação ao percentual de predições corretas quando comparado aos outros dois, como pode ser observado através dos gráficos 6.1, 6.2, 6.3, nos quais são apresentados os resultados para simulações com 6 PAs, e também dos gráficos 6.4, 6.5, 6.6, nos quais são apresentados os resultados para simulações com 16 PAs.

O algoritmo Critério de Visão mostrou-se capaz de reagir melhor enquanto a EM transita para áreas, até então, desconhecidas pelo histórico de movimentação. No entanto os resultados mostraram que o Critério de Visão, assim como os demais algoritmos, sofre com a presença de movimentos aleatórios e uma quantidade maior de PAs presentes na rede, apresentando uma diminuição do percentual de predições corretas.

# Capítulo 7

## Implementação

N<sup>O</sup> capítulo anterior foram apresentados os resultados das simulações, realizadas com o objetivo de avaliar o algoritmo de predição proposto. Neste capítulo é apresentada a implementação do mecanismo proposto, que foi realizada em um ambiente de rede sem fio real. Como foi visto, o problema do *handover* foi atacado sob o ponto de vista do uso do histórico de movimentação dos usuários, com o objetivo de realizar a pré-alocação de recursos.

Como é possível que as aplicações sendo executadas na estação móvel de um usuário sejam prejudicadas pelo processo de *handover*, a proposta apresentada nesta tese mostra-se como uma alternativa interessante para que os efeitos do *handover* sejam minimizados.

Um exemplo de aplicação que poderia ser beneficiada com a pré-alocação de recurso seria no caso da segurança. Por exemplo, com o objetivo de manter a autenticação de um usuário enquanto ele se movimenta pela área da rede sem fio. Dentro do contexto de aplicações de segurança podemos citar o AirStrike [33] que é uma implementação segura de um ponto de acesso para redes sem fio baseado no sistema operacional OpenBSD em conjunto com diversos outros softwares de código aberto sobre uma plataforma i386. Dentre estas ferramentas é possível citar algumas como, redes privadas virtuais (*Virtual Private Networks* - VPNs), *firewalls*, infraestrutura de chave pública (PKI), sistemas de detecção de desligamento de

estação (DDE) e um sistema de controle de acesso e autenticação à rede sem fio.

Outro exemplo de aplicação é o protocolo de autenticação *Secure Remote Password* (SRP)[34] que permite o estabelecimento de uma chave de sessão durante a autenticação da estação móvel em um ponto de acesso de forma segura. Detalhes sobre o processo de autenticação, quais são as mensagens trocadas, e como as chaves são efetivamente obtidas podem ser encontrados em [34].

No contexto do *handover* é importante observar que após a passagem da conexão da estação móvel do seu antigo ponto de acesso para o novo, seria interessante que a autenticação do usuário fosse mantida. Sendo assim, o protocolo SRP foi escolhido para ser utilizado na implementação da proposta apresentada nesta tese, com o objetivo de avaliar a viabilidade da utilização do mecanismo em questão em um cenário de rede sem fio real.

Toda a troca de mensagens entre as entidades envolvidas no processo de predição e pré-alocação foram implementadas, assim como o algoritmo Critério de Visão.

## 7.1 Descrição do ambiente

O ambiente de rede sem fio utilizado possui as seguintes características:

- Dois pontos de acesso baseados no sistema operacional OpenBSD.
- Uma estação móvel utilizando o sistema operacional Linux.
- Uma entidade central implementada no sistema Linux.

Os programas utilizados na coleta, no envio e na predição, foram implementados em C e Shell script. Os pontos de acesso e a entidade central foram conectados através de uma rede cabeada, já a comunicação entre a EM e os PAs foi realizado através da rede sem fio. A Figura 7.1 mostra a configuração do cenário.

A versão do protocolo de autenticação SRP [34] utilizada, foi implementada durante a tese de mestrado *Proposta e avaliação de protocolos de autenticação*,

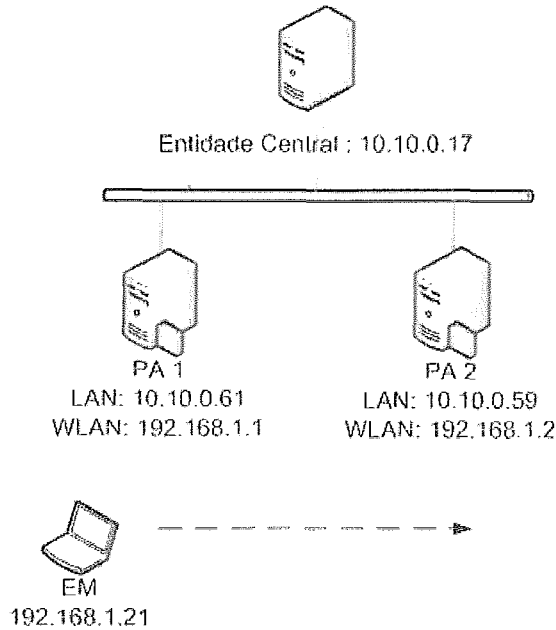


Figura 7.1: Ambiente de rede sem fio utilizado.

*troca de chaves e detecção de desligamento de estação com aplicação em redes sem fio* [35], desenvolvida no laboratório RAVEL, seguindo as definições da RFC 2945. Assim como, o protocolo utilizado para a reautenticação das EMs.

Nesse ambiente, os pontos de acesso foram configurados para pertencer a mesma rede sem fio, utilizando o mesmo ESSID. Também foram configurados dentro da mesma sub-rede, permitindo assim, que a EM móvel transitasse entre eles sem a necessidade de um novo endereço IP.

A EM realiza a associação baseando-se no ESSID da rede sem fio. O PA ao qual se associa, é aquele que apresentar o melhor nível de sinal no momento em que iniciar sua busca por PAs. O endereço IP do *gateway* utilizado pela EM, é configurado automaticamente.

O histórico de movimentação montado pela entidade central, foi mantido somente em memória durante os testes. Ou seja, após a realização dos testes, o histórico não foi mantido. A razão para isso, foi a utilização de um cenário com poucos PAs, no qual a montagem do histórico acontece rapidamente. Em um cenário com uma quantidade maior de PAs ou, durante a utilização do mecanismo proposto em uma

rede de produção, o histórico de movimentação deveria ser armazenado em disco, para que o perfil de movimentação do usuários da rede pudesse ser acompanhado durante um longo período.

### 7.1.1 Configurações necessárias

Alguns arquivos de configuração foram criados, para permitir que os pontos de acesso fossem capazes de pré-alocar recursos. Nesses arquivos, foram feitas as associações entre os endereços MAC e IP dos PAs da rede.

Como as predições realizadas pela entidade central são baseadas nos endereços MAC dos PAs, as respostas às requisições feitas pelo mecanismo de autenticação apresentam um endereço MAC. Sendo assim, para pré-alocar recursos, os PAs precisam traduzir esses endereços MAC em endereços IP.

As estações móveis receberam um arquivo de configuração semelhante, para que fossem capazes de configurar automaticamente o endereço IP de seus *gateways*, de acordo com o novo PA para o qual transitassem.

## 7.2 Processo de autenticação

O protocolo SRP [34] foi utilizado para realizar a autenticação das EMs, tendo sido utilizada uma versão implementada em [35], onde apresentou um tempo de aproximadamente 190 ms para ser executado. Por se tratar de um ambiente de teste, no qual o objetivo era avaliar o funcionamento do mecanismo proposto em um ambiente real, o processo de autenticação não foi integrado ao sistema. Isso significa dizer, que após realizar uma autenticação, nenhum tipo de acesso pode ser liberado ou negado, ocorrendo apenas a validação das credencias informadas pela EM.

Ao final de uma autenticação bem sucedida entre a EM e o PA, uma chave de sessão é gerada. Essa chave de sessão é o recurso que deve ser pré-alocado pelo próprio mecanismo de autenticação, com base nos resultados das predições da

entidade central.

Algumas funcionalidades foram adicionadas ao mecanismo de autenticação, para que se tornasse possível pré-alocar as chaves de sessão em outros PAs. Porém, a autenticação realizada pelo protocolo SRP não foi alterada, ou seja, a validação das credenciais da EM e a geração da chave de sessão mantiveram-se inalteradas.

Algumas das funcionalidades adicionadas ao mecanismo de autenticação foram implementadas na parte servidor do mecanismo, sendo executadas nos pontos de acesso. São elas:

- Armazenamento da chave de sessão gerada.
- Envio de requisições para a entidade central.
- Envio da chave de sessão estabelecida entre PA e EM, para o PA estimado na predição.
- Recebimento da chave de sessão que deve ser pré-alocada.

A seguinte funcionalidade foi adicionada à parte cliente do mecanismo de autenticação, sendo executada pelas EMs:

- Armazenamento da chave de sessão gerada.

A autenticação é iniciada pela EM, que após uma autenticação bem sucedida, inicia o rastreamento ativo para identificação dos pontos de acesso dentro do seu alcance de comunicação.

## 7.3 Processo de reautenticação

O processo de reautenticação é realizado quando uma EM, autenticada no PA ao qual encontra-se associada, se movimenta pela área de cobertura da rede sem fio, realizando um processo de *handover*.

No cenário de teste, o protocolo utilizado para realizar a reautenticação das EMs em um novo PA, foi o protocolo de Desafio-resposta (*Challenge Response*), implementado em [35], onde apresentou um tempo de aproximadamente 45 ms para ser executado.

Assim como o SRP, o mecanismo utilizado na reautenticação também recebeu novas funcionalidades, sem que o protocolo de autenticação sofresse qualquer alteração.

As funcionalidades adicionadas foram as seguintes:

- Armazenamento da chave de sessão gerada.
- Envio de requisições para a entidade central.
- Envio da chave de sessão estabelecida entre PA e EM, para o PA estimado na predição.

## 7.4 Descrição do teste realizado

No ambiente descrito na seção 7.1, um *notebook* foi utilizado como EM. Tendo sido, inicialmente, posicionado próximo ao PA1, onde o nível de sinal alcançou um nível mais forte em relação a esse ponto de acesso, fazendo com que a EM se associasse a ele.

Após se associar ao ponto de acesso PA1, a EM iniciou o protocolo de autenticação SRP. As credenciais informadas pela EM foram verificadas pelo PA1 e aceitas. Com isso, o ponto de acesso iniciou o envio de requisições para a entidade central.

Ao mesmo tempo, após ter realizado uma autenticação válida, a EM iniciou o rastreamento ativo por pontos de acesso em sua área de cobertura, enviando o resultado para a entidade central, através do PA1. Como o cenário possui apenas dois PAs, a entidade central, baseando-se no resultado do rastreamento realizado pela EM, estimou que o ponto de acesso PA2, seria o próximo ponto de acesso



visitado pela EM. Com isso, o ponto de acesso PA1 enviou a chave de sessão gerada durante a autenticação da EM, para o ponto de acesso PA2.

O segundo passo do teste foi posicionar a EM próxima ao ponto de acesso PA2, para que seu nível de sinal se tornasse mais alto do que o nível de sinal em relação ao ponto de acesso PA1. Após posicionada, a EM passou sua associação para PA2 e iniciou sua reautenticação através do protocolo Desafio-Resposta, utilizando sua chave de sessão atual, gerada durante sua autenticação via SRP. O que foi possível, somente, porque a chave de sessão estabelecida durante sua primeira autenticação, havia sido pré-alocada em seu novo ponto de acesso. Caso contrário, a EM teria que realizar uma nova autenticação através do protocolo SRP, que seria mais custosa em função do maior tempo de execução desse protocolo, como pode ser visto através da avaliação realizada em [35].

## 7.5 Análise da implementação

Além de avaliar a viabilidade de se implementar o mecanismo proposto, utilizando recursos tecnológicos usualmente acessíveis, durante a implementação alguns pontos importantes puderam ser observados. Foi realizada uma simulação com o mesmo cenário utilizado durante a implementação, com o objetivo de mostrar o comportamento do percentual de acertos para o algoritmo Critério de Visão.

Alguns pontos importantes foram observados durante a implementação:

- *Escalabilidade*

Quanto a escalabilidade, o mecanismo proposto apresenta uma característica, que o permite acompanhar o aumento da quantidade de usuários da rede sem fio, sem que a entidade central fique sobrecarregada. Ao encaminhar os resultados dos rastreamentos ativos, realizados pelas EMs, os pontos de acesso podem enviá-los para mais do que uma entidade central, realizando uma seleção de acordo com a EM.

Dessa forma, o aumento da quantidade de EMs, que devem ser suportadas pelo mecanismo, pode ser absorvido através da utilização de uma quantidade maior de entidades centrais.

- *Exclusividade das predições*

Apenas 1 mecanismo de autenticação sendo executado em cada ponto de acesso, pode realizar requisições de predições para a entidade central. Ou seja, após a EM realizar o *handover*, apenas o mecanismo de autenticação de seu novo PA, enviará novas requisições. Isso garante que um ponto de acesso indicado por uma predição da entidade central, não receba duas ou mais chaves de sessões, de diferentes pontos de acesso pelos quais a EM tenha transitado.

- *Tempo de autenticação*

A pré-alocação da chave de sessão, no segundo ponto de acesso presente na rede, permitiu a realização de uma reautenticação com uma duração de tempo menor quando a EM realizou o *handover*. Como comentado nas seções 7.2 e 7.3, o tempo para primeira autenticação é de aproximadamente 190 ms, e de aproximadamente 45 ms para a reautenticação. O que representa uma diminuição do tempo necessário para restabelecer a conexão da EM.

### 7.5.1 Simulação

No cenário real no qual o mecanismo proposto foi implementado, foram utilizados dois pontos de acesso, uma entidade central e uma única estação móvel. Essa configuração permitiu que o algoritmo de predição Critério de Visão, implementado na Entidade Central, se beneficiasse da existência de apenas um PA na área de alcance da EM, além daquele ao qual ela se encontrava associada, para realizar suas predições.

Uma simulação com as mesmas características do ambiente real descrito acima foi realizada.

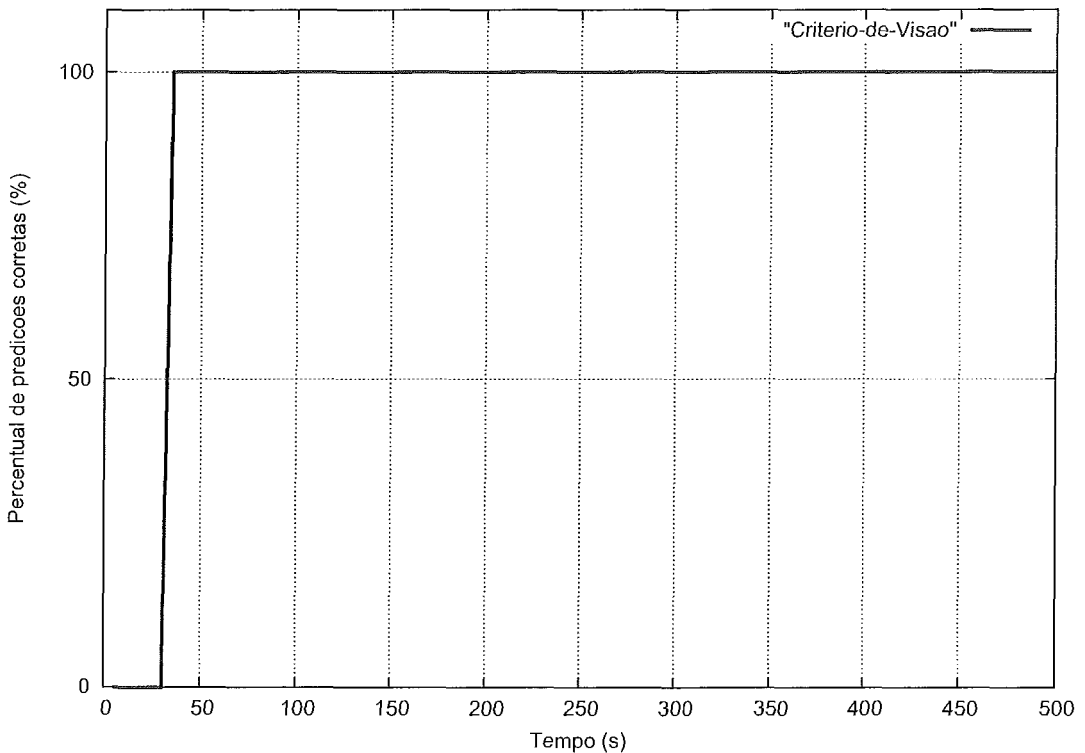


Figura 7.2: Simulação com 2 PAs e 1 EM.

O gráfico 7.2 mostra o resultado da simulação para o cenário com um tempo de simulação de 500 segundos, velocidade máxima de 3 m/s para a movimentação da estação móvel e área de simulação de 30 m X 30 m. Assim como as simulações descritas no capítulo 6, essa simulação foi realizada utilizando-se o Ad-hockey [30], considerando o alcance da transmissão dos PAs como 40 m. O modelo de mobilidade utilizado não influencia o resultado da simulação pois existem apenas 2 PAs no cenário, tendo sido utilizado o modelo *Random Waypoint* [31] nessa simulação.

Como é possível observar, após o primeiro *handover* que ocorre antes dos primeiros 50 segundos de simulação, o percentual de predições corretas não se altera, permanecendo em 100%. Antes do primeiro *handover* o percentual mostrado é 0 pois nenhuma predição havia sido realizada até esse instante. Esse comportamento ocorre pois o Critério de Visão estima imediatamente o único ponto de acesso dentro da área de alcance da EM, além daquele ao qual a EM se encontra associada.

Com isso, a simulação obteve o mesmo comportamento observado durante a implementação realizada no ambiente real. A Tabela 7.1 mostra que o percentual

de acertos se comportou da mesma maneira tanto para a simulação descrita nessa seção, quanto para o teste descrito anteriormente na seção 7.4.

Tabela 7.1: Simulação X Cenário real. Percentual de predições corretas.

	Percentual de acertos antes do primeiro <i>handover</i>	Percentual de acertos após o primeiro <i>handover</i>
Simulação	0	100
Cenário real	0	100

## Capítulo 8

# Conclusões e Perspectivas para Trabalhos Futuros

A possibilidade de identificar antecipadamente o destino da conexão de uma EM, em um ambiente de rede sem fio, pode ser muito útil para a pré-alocação de recursos. Principalmente, em função das melhorias possíveis no que diz respeito ao processo de *handover*, o qual prejudica a qualidade da conexão dos usuários da rede. Na implementação realizada, a pré-alocação de recursos permitiu a realização de uma re-autenticação em um tempo reduzido entre a EM e o PA. Sendo que a autenticação tem duração de um tempo de aproximadamente 190 ms, e a re-autenticação duração de aproximadamente 45 ms, como pode ser observado através dos tempos medidos em [35].

Para que a pré-alocação de recursos seja possível, é necessário que se conheça a localização ou o perfil de movimentação das EMs. Existem diversas propostas na literatura dentro desse contexto, como as propostas [1, 2, 3, 6, 7, 4], que foram apresentadas no capítulo 4.

Diferentes abordagens podem ser adotadas durante a pré-alocação de recursos, em função da quantidade de recursos computacionais disponíveis na rede. Assim, surge o compromisso entre a probabilidade de uma EM realizar o *handover* para um PA, no qual houve a alocação antecipada de recursos, e a quantidade desejada de

---

recursos computacionais necessários para garantir essa probabilidade. Ou seja, para garantir uma maior chance de uma EM passar para um PA e encontrar recursos pré-alocados, uma quantidade maior de PAs deve ser envolvida na pré-alocação. No entanto, utilizar todos os PAs disponíveis para realizar a pré-alocação, pode ser um grande desperdício ou, até mesmo, tornar inviável a pré-alocação.

Nesse contexto, foi proposto um mecanismo de suporte à conectividade visando garantir recursos pré-alocados, no qual um novo algoritmo de predição foi utilizado. Sendo que o funcionamento do algoritmo proposto depende da informação sobre os PAs no alcance das EMs registradas no histórico de movimentação, como explicado em 5.3.1. O mecanismo proposto apresenta um método, para obter as informações necessárias para a montagem do histórico de movimentação, que é baseado no rastreamento ativo realizado pelas EMs.

O rastreamento ativo realizado pelas EMs é essencial para a formação dos históricos de movimentação. Trata-se de uma característica do mecanismo proposto nessa tese, que se diferencia de outras propostas de predição pesquisadas, nas quais a participação ativa das EMs não é essencial. Sendo assim, o rastreamento ativo pode ser visto como uma atividade desempenhada pelas EMs, que aumenta o consumo de energia. Por se tratar de dispositivos com fonte de energia limitada, o rastreamento ativo realizado pelas EMs, pode ser considerado um ponto negativo, quando o mecanismo proposto nessa tese é comparado a outros trabalhos pesquisados, nos quais a participação ativa das EMs não é essencial.

Foram realizadas simulações com o objetivo de avaliar o novo algoritmo, o Critério de Visão. Além desse algoritmo, outros dois foram utilizados nas simulações para que pudessem ser comparados. Os resultados das simulações mostraram, que o algoritmo Critério de Visão possui um desempenho superior em relação ao percentual de predições corretas quando comparado aos outros dois. Mostrando-se capaz de reagir melhor enquanto a EM transita para áreas, até então, desconhecidas pelo histórico de movimentação. No entanto os resultados mostraram que o Critério de Visão, assim como os demais algoritmos, sofre com a presença de movimentos aleatórios e uma quantidade maior de PAs presentes na rede, apresentando uma diminuição do

---

percentual de predições corretas.

O mecanismo proposto foi implementado em um ambiente real, com o objetivo de avaliar a possibilidade de sua utilização em uma rede sem fio local baseada no padrão 802.11 [5]. Além do mecanismo proposto, também foram implementadas alterações nos mecanismos de autenticação SRP [34] e [35] Desafio-Resposta, para que realizassem a pré-alocação de recursos baseando-se nos resultados das predições, realizadas pela entidade central.

A mobilidade dos usuários em uma rede sem fio influencia diretamente a qualidade de suas conexões. Dessa forma, métodos de predição baseados no comportamento dos usuários tornam-se muito úteis. Sendo assim, o mecanismo proposto apresenta perspectivas de trabalhos futuros, são elas:

- Definir uma forma de pré-alocar recursos em uma quantidade maior de pontos de acesso, com o objetivo de aumentar o percentual de predições corretas. Estudar o impacto dessa alteração no desempenho do algoritmo Critério de Visão. De acordo com os resultados obtidos, tal modificação poderia ser realizada na implementação do mecanismo proposto.
- Realizar novos testes com a implementação do mecanismo proposto, utilizando um cenário mais complexo, com uma quantidade maior de pontos de acesso e estações móveis. Esses testes, permitiriam avaliar o desempenho do mecanismo proposto sob condições mais intensas de utilização.
- Alterar a implementação do mecanismo, para que os históricos de movimentação das estações móveis sejam armazenados em disco, através de um sistema de gerenciamento de banco de dados ou arquivos. A versão atual mantém o histórico de movimentação em memória RAM, assim, quando a entidade central é encerrada, o histórico é eliminado. Para o ambiente de testes utilizado, no qual havia poucos pontos de acesso e apenas uma estação móvel, esse tratamento do histórico de movimentação foi pertinente.
- Estudar uma forma de integrar a implementação do mecanismo proposto em um ambiente de produção. Junto a esse estudo, realizar uma análise de se-

gurança dos protocolos de autenticação, em função das alterações realizadas e da reutilização da chave de sessão em outros pontos de acesso.



# Bibliografia

- [1] KITASUKA, T., NAKANISHI, T., AND FUKUDA, A. Design of wips: Wlan-based indoor positioning system. vol. 7, Korea Multimedia Society, Dezembro 2003, pp. 15–29.
- [2] BAHL, P., AND PADMANABHAN, V. N. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. INFOCOM, Tel Aviv, Israel, Março 2000, pp. 775–784.
- [3] KOMAR, C., AND ERSOY, C. Location tracking and location based service using ieee 802.11 wlan infrastructure. European Wireless Conference, Barcelona, Espanha, 2004.
- [4] CHAN, J., ZHOU, S., AND SENEVIRATNE, A. A qos adaptive mobility prediction scheme for wireless networks. GLOBECOM, Sydney, Novembro 1998, pp. 1414–1419.
- [5] ANSI/IEEE STD 802.11. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, 1999 ed.
- [6] MISHRA, A., SHIN, M., AND ARBAUGH, W. A. Context caching using neighbor graphs for fast handoffs in a wireless network. INFOCOM, Março 2004, pp. 351–361.
- [7] PACK, S., AND CHOI, Y. Pre-authenticated fast handoff in a public wireless lan based on ieee 802.1x model. IFIP TC6 Personal Wireless Communications 2002, Singapore, Outubro 2002, pp. 175–182.

- 
- [8] QIMING, L. The Scenario Generator. <http://www.comp.nus.edu.sg/liqn/scengen/>,  
Último acesso: Março 2004.
- [9] WALKER, R. Unsafe at any key size: An analysis of the wep encapsulation. Relatório técnico, Intel Corporation, 2000. IEEE 802.11-00/362.
- [10] BORISOV, N., GOLDBERG, I., AND WAGNER, D. Intercepting mobile communications: The insecurity of 802.11. MOBICOM, ACM Press, Roma, Itália, 2001, pp. 180–189.
- [11] FLUHRER, S., MANTIN, I., AND SHAMIR, A. Weaknesses in the key scheduling algorithm of rc4. Eighth Annual Workshop on Selected Areas in Cryptography, Toronto, Canadá, Agosto 2001, pp. 1–24.
- [12] PERKINS, C. Ip mobility support for ipv4. Relatório técnico, Nokia Research Center, 2002. RFC: 3344.
- [13] HSIEH, R., AND SENEVIRATNE, A. A comparison of mechanisms for improving mobile ip handoff latency for end-to-end tcp. MobiCom, San Diego, Califórnia, Setembro 2003, pp. 29–41.
- [14] HSIEH, R., ZHOU, Z. G., AND SENEVIRATNE, A. S-mip: A seamless handoff architecture for mobile ip. INFOCOM, San Francisco, 2003.
- [15] REINBOLD, P., AND BONAVENTURE, O. A comparison of ip mobility protocols. [www.infonet.fundp.ac.be](http://www.infonet.fundp.ac.be), Dezembro 2001.
- [16] FREEDMAN, A., AND HADAD, Z. Handoff schemes overview and guidelines for handoff procedures in 802.16. Relatório técnico, 2002. IEEE C802.16sgm-02/24.
- [17] KAMMANN, J., AND BLACHNITZKY, T. Split-proxy concept for application layer handover in mobile communication systems. 4<sup>th</sup> International Workshop on Mobile and Wireless Communications Networks, Stockholm, Sweden, Setembro 2002, pp. 532–536.
- [18] IEEE DRAFT 802.1F/D5. *Recommended Practice for Multi-vendor Access Point Interoperability via an Inter-Access Point Protocol Across Distribution Systems Supporting IEEE 802.11 Operation*, 2003 ed., Janeiro.

- 
- [19] MISHRA, A., SHIN, M., AND ARBAUGH, W. An empirical analysis of the iee 802.11 mac layer handoff process. ACM SIGCOMM Comp. Commun. vol 33, Abril 2003.
- [20] VATN, J. An experimental study of iee 802.11b handover performance and its effect on voice traffic. Relatório técnico, julho 2003. TRITA-IMIT-TSLAB R 03:01.
- [21] MANNER, J., AND KOJO, M. Ip mobility support for ipv4. Relatório técnico, Network Working Group, Junho 2004. RFC: 3753.
- [22] AHMAD, A., AND BABA, M. Handover strategy for mobile wireless lan. 4<sup>th</sup> National Conference on Telecommunication Technology Proceedings, Shah Alam, Malaysia, 2003, pp. 141 143.
- [23] KODLI, R., AND PERKINS, C. Fast handovers and context transfers in mobile networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, New York, USA, Outubro 2001, pp. 37 47.
- [24] STEPHANE, A., MIHAILOVIC, A., AND AGHVAMI, A. H. Mechanisms and hierarchical topology for fast handover in wireless ip network. IEEE Communications Magazine, Novembro 2000, pp. 112 115.
- [25] STEPHANE, A., AND AGHVAMI, A. H. Mechanisms and hierarchical topology for fast handover in wireless ip network. Relatório técnico, Centre for Telecommunication Research.
- [26] MATSUOKA, H., YOSHIMURA, T., AND OHYA, T. A robust method for soft ip handover. IEEE Internet Computing, Abril 2003, pp. 18 24.
- [27] IEEE COMPUTER SOCIETY. *IEEE Trial-Use Recommended Practice for Multi-Vendor Access Point Interoperability via an Inter-Access Point Protocol Across Distribution Systems Supporting IEEE 802.11 Operation*, 2003 ed.
- [28] PACK, S., AND CHOI, Y. Fast inter-ap handoff using predictive-authentication scheme in a public wireless lan. ICN 2002 e ICWLHN 2002, Atlanta, USA, Agosto 2002.

- [29] WANT, R., HOPPER, A., FALCÃO, V., AND GIBBONS, J. The active badge location system. Relatório técnico, Olivetti Research Ltd. ORL, Cambridge, 1992.
- [30] MONARCH. Adhockey. <http://www.monarch.cs.rice.edu/ns-faq/faq.html>, Último acesso: Março 2004.
- [31] CAMPOS, C. A. V., DE MORAES, L. F. M., SILVA, A. M., OTERO, D. C., AND DE ALBUQUERQUE, L. R. Mobilidade em redes sem fio ad hoc. pp. 1-40. Minicurso do V Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel, WCSF2003, São Lourenço, Brasil, Outubro 2003.
- [32] CAMPOS, C. A. V., OTERO, D. C., AND DE MORAES, L. F. M. Realistic individual mobility markovian models for mobile ad hoc networks. Publicado em: IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2004. Volume: 4, Page(s): 21-25, Atlanta, GA, USA, 2004.
- [33] COPPE/RAVEL. Airstrike. <http://www.airstrike.ravel.ufrj.br>, Último acesso: Março 2005.
- [34] WU, T. The srp authentication and key exchange system. Relatório técnico, Network Working Group, 2000. RFC: 2945.
- [35] CARRIÓN, D. S. D. Proposta e avaliação de protocolos de autenticação, troca de chaves e detecção de desligamento de estação com aplicação em redes sem fio. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/RAVEL, 2005. Defesa marcada para abril de 2005.