

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

LEONARDO BATISTA DE QUEIROZ

**SIMULADOR PARA SERVIDOR HABILITADOR DE
LOCALIZAÇÃO EM PLATAFORMA LBS**

Recife, Janeiro de 2006

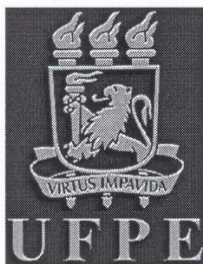
LEONARDO BATISTA DE QUEIROZ

**SIMULADOR PARA SERVIDOR HABILITADOR DE
LOCALIZAÇÃO EM PLATAFORMA LBS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: FERNANDA MARIA RIBEIRO ALENCAR, Doutora

Recife, Janeiro de 2006



Universidade Federal de Pernambuco

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DE

LEONARDO BATISTA DE QUEIROZ


TÍTULO

**“SIMULADOR PARA SERVIDOR HABILITADOR DE
LOCALIZAÇÃO EM PLATAFORMA LBS”**

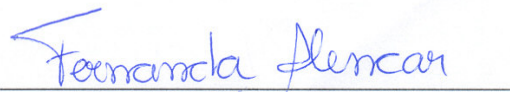
A comissão examinadora composta pelos professores:
FERNANDA MARIA RIBEIRO DE ALENCAR, DES/UFPE, RAFAEL DUEIRE
LINS, DES/UFPE e RICARDO JOSÉ PAIVA DE BRITTO SALGUEIRO,
DCCE/UFS sob a presidência do primeiro, consideram o candidato

LEONARDO BATISTA DE QUEIROZ APROVADO.


Recife, 03 de janeiro de 2006.



JOAQUIM FERREIRA MARTINS FILHO
Coordenador do PPGEE



FERNANDA MARIA RIBEIRO DE
ALENCAR
Orientador e Membro Titular Interno



RICARDO JOSÉ PAIVA DE BRITTO
SALGUEIRO
Membro Titular Externo



RAFAEL DUEIRE LINS
Membro Titular Interno

A meus pais, por todas as oportunidades que me proporcionaram e incentivo que me concederam. A minha esposa, pelo apoio e dedicação. E a meu filho que, em todas as horas de cansaço, trouxe-me um sorriso.

Agradecimentos

À Professora Fernanda Maria Ribeiro Alencar, orientadora deste trabalho, pelo incentivo, interesse e aconselhamento dados.

Aos professores Rafael Dueire Lins e Ricardo José Paiva de Britto Salgueiro por sua participação na minha banca examinadora.

Ao Centro Avançado de Engenharia e Serviços do Recife – CAESER, ao Grupo de Fotônica do Departamento de Eletrônica e Sistemas da Universidade Federal de Pernambuco e à Siemens do Brasil, por possibilitarem toda a estrutura necessária para a realização de todo esse trabalho.

Aos demais colegas do CAESER, pelo apoio durante todo o desenvolvimento do simulador, além das críticas e sugestões a este trabalho.

RESUMO

DE QUEIROZ, Leonardo Batista. **Simulador para Servidor Habilitador de Localização em Plataforma LBS**. Recife: 2006.

Desde seu surgimento, a telefonia sofreu constante evolução tecnológica. Na década de 70, surgiu uma nova necessidade: a mobilidade. Iniciou-se a era das comunicações móveis. A crescente integração dos sistemas celulares com a informática possibilitou o aparecimento de novas tecnologias e serviços às redes móveis. Atualmente, a telefonia celular digital tem como um dos principais representantes o GSM. Esse sistema especifica áreas de serviços bem definidas. Dentre essas áreas, uma que vem atraindo a atenção dos pesquisadores refere-se aos serviços de localização. Tais serviços utilizam o dispositivo móvel como ferramenta para a localização de seu portador. Para empregá-los nas redes móveis, é necessário o desenvolvimento de aplicações externas. A simulação surge como uma alternativa de apoio ao desenvolvimento dos aplicativos para os chamados serviços baseados em localização (LBS). Este trabalho descreve o desenvolvimento de um simulador para um dos componentes de um LBS. Trata-se de uma ferramenta que simula o serviço básico da plataforma de LBS da Siemens, informando a localização de dispositivos simulados. Essa ferramenta tem o objetivo de validar aplicações para LBS. O processo de desenvolvimento percorreu etapas bem definidas: especificação de funcionalidade; estudos de tecnologias e modelos que atendiam às necessidades; codificação em Java; documentação; e testes de validação. Atualmente, esse simulador encontra-se em uso por desenvolvedores.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação, Localização, Telefonia Móvel, LBS, GSM.

ABSTRACT

DE QUEIROZ, Leonardo Batista. **Simulador para Servidor Habilitador de Localização em Plataforma LBS**. Recife: 2006.

Since XIX century's end, the telephony suffered to constant technological evolution. In the 70's, a new need was looked for: mobility. So, it began the age of the mobile communications. The increasing integration between cellular systems and computer science made possible the development of new technologies and services to the mobile networks. Currently, the digital cellular telephony has GSM as the one of the main technologies. This system specifies well definite areas of services. Amongst these areas, one that comes attracting the attention of the researchers refers to location services. These services use the mobile device as tool for the location of its owner. To use them in the mobile network, the development of external applications is needed. The simulation appears as an alternative of support to development of applications for the called Location-Based Services – LBS. This work describes the development of a simulator for one of components from LBS. It means that this one is about a tool that simulates the basic service of the Siemens LBS platform, in order to inform the location of simulated devices. This tool is intended to validate applications for LBS. The development process covered well definite stages: functional specification; studies of technologies and models; Java codification; documentation; e validation tests. Currently, this simulator meets in use for developers.

KEYWORDS: Simulation; Location; Mobile Telecommunications; LBS; GSM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1: Estrutura de rede telefônica completamente interconectada (extraído de [2]).....	10
Figura 2-2: Estrutura da rede telefônica de chaveamento centralizado (adaptado de [2]).....	10
Figura 2-3 :Hierarquia de segundo nível (adaptado de [2])	11
Figura 2-4: Estrutura Física de um cabo coaxial.	13
Figura 2-5: Reutilização de frequência nas células (extraído de [2])	19
Figura 2-6: FDMA.	21
Figura 2-7: TDMA Faixa Estreita.....	26
Figura 2-8: Estrutura de quadro e <i>timeslot</i> do TDMA.....	27
Figura 2-9: Arquitetura Básica do CDMA.	29
Figura 2-10: Carga de um canal CDMA	31
Figura 2-11: Arquitetura básica GSM.....	33
Figura 3-1 :Etapas em um processo de Simulação	43
Figura 3-2 :Etapas da Modelagem Computacional	44
Figura 3-3: Entidades e relações de modelagem e simulação (extraído de [27]).....	50
Figura 3-4: Configuração de Modelo de Espera.....	53
Figura 3-5: Percurso de uma partícula utilizando Waypoint (extraído de [29])	59
Figura 3-6: Modelo de Mobilidade MPA (extraído de [29])	60
Figura 3-7: Diagrama de Casos de Uso do Simulador.....	64
Figura 3-8: Diagrama de Classes parcial do Simulador.....	65
Figura 3-9: Diagrama de Estados	66
Figura 3-10: Diagrama de Atividades.....	67
Figura 3-11: Diagrama de Seqüência.....	67
Figura 4-1: Padrão de reutilização de frequência celular (adaptado de [2]).	78
Figura 4-2: Melhoria de Precisão com Cell-ID	79
Figura 4-3: Método de localização Cell-ID com antenas setorizadas.	80
Figura 4-4: Quadro TDMA = 8 timeslots	80
Figura 4-5: Método de localização Cell-ID com Timing Advance	81
Figura 4-6:Diagrama de Radiação de uma Antena de BTS	82
Figura 4-7: E-CGI.....	83
Figura 4-8: Medida básica de OTD em um dispositivo móvel (adaptado de [40]).....	84
Figura 4-9: GTD (adaptado de [40]).....	85
Figura 4-10: E-OTD (adaptado de [40])	86
Figura 4-11: Princípio de Funcionamento do TOA (adaptado de [40]).....	87
Figura 4-12: Precisão versus Ambiente de Uso das tecnologias de posicionamento (traduzido de [38])	92
Figura 5-1: Arquitetura “clássica” de uma rede móvel com serviços de localização (<i>Location Services – LCS</i>) – (traduzido de [49])	101
Figura 5-2: Arquitetura “moderna” de uma rede móvel com serviços de localização (<i>Location Services – LCS</i>) – (extraído de [49]).....	102
Figura 5-3: Arquitetura de APIs do LES – (extraído de [49]).....	104
Figura 5-4: Visão Geral do Funcionamento do Simulador	108
Figura 5-5: Diagrama em Blocos do Simulador do LES	109
Figura 5-6: Tela Inicial da Interface de Gerenciamento	111
Figura 5-7: Tela de Registro de Dispositivos	112
Figura 5-8: Edição de parâmetros do dispositivo	113

Figura 5-9: Fluxograma de Configuração Simples.....	114
Figura 5-10: Área de Interesse.....	116
Figura 5-11: Distância entre dois pontos na superfície da terra.	118
Figura 5-12: Deslocamento de um dispositivo móvel	119
Figura 5-13: Seqüência de comunicação entre um aplicação remota e o simulador.....	122
Figura 5-14: Diagrama Use Case simplificado do gerenciamento do simulador.....	127
Figura 6-1: Diagrama em Blocos do Simulador do LES	129
Figura 6-2: Botão de Escolha da criação de dispositivos.....	136
Figura 6-3: Registro de Dispositivo (simples).....	137
Figura 6-4: Registro de Múltiplos Dispositivos	139
Figura 6-5: Botão de escolha de Edição de Parâmetros.....	143
Figura 6-6: Tela de edição de parâmetros	143
Figura 6-7: Área de escolha da precisão de resposta	147
Figura 6-8: Tela de cadastro e edição de identificadores.....	150
Figura 6-9: Localização inicial, na tela de cadastro de usuários.	150
Figura 6-10: Determinação de trecho de rota, na tela de edição de parâmetros.....	151
Figura 7-1: Seleção de Idiomas	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 6-1: Tratamento de erro do simulador	134
Tabela 6-2: Evolução Mensal das Comunicações Móveis no Brasil – SMC e SMP	154
Fonte: Anatel [57].....	154
Tabela 6-3: Planilha de Testes de Aceitação.....	157

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	-	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
A-GPS	-	<i>Assisted Global Positioning System</i>
AMPS	-	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
ANSI	-	<i>American National Standards Institute</i>
APC	-	<i>American Personal Communications</i>
API	-	<i>Application Programming Interface</i>
ARFCN	-	<i>Absolute Radio Frequency Channel Number</i>
AuC	-	<i>Authentication Center</i>
BSC	-	<i>Base Station Controller</i>
BSS	-	<i>Base Station Subsystem</i>
BTS	-	<i>Base Transceiver Station</i>
CCC	-	Central de Comutação e Controle
CCH	-	<i>Control Channel</i>
CDMA	-	<i>Code Division Multiple Access</i>
Cell-ID	-	<i>Cell-Identification</i>
CEPT	-	<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>
DAMPS	-	<i>Digital Advanced Mobile Phone System</i>
DSC	-	<i>Digital Cellular System</i>
E-CGI	-	<i>Enhanced – Cell Global Identity</i>
E-CID	-	<i>Enhanced Cell-ID</i>
EDGE	-	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
EFR	-	<i>Enhanced Full Rate</i>
EIR	-	<i>Equipment Identity Register</i>
E-OTD	-	<i>Enhanced Observed Time Difference</i>
ERB	-	Estação Rádio-Base
ETSI	-	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FCC	-	<i>Federal Communications Commission</i>
FDD	-	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDM	-	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FDMA	-	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FH	-	<i>Frequency Hopping</i>
FIFO	-	<i>First In, First Out</i>
FCFS	-	<i>first come, first serve</i>

FSK	-	<i>Frequency Shift Keying</i>
GMLC	-	<i>Gateway Mobile Location Center</i>
GMSK	-	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i>
GPRS	-	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	-	<i>Global Positioning System</i>
GSM	-	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GTD	-	<i>Geometric Time Difference</i>
GUI	-	<i>Graphical User Interface</i>
HDL	-	<i>Hardware Description Language</i>
HLR	-	<i>Home Location Register</i>
HTML	-	<i>Hyper Text Markup Language</i>
HTTP	-	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
HTTPS	-	<i>Secure HTTP</i>
IMEI	-	<i>International Mobile Station Equipment Identity</i>
IMSI	-	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>
IMTS	-	<i>Improved Mobile Telephone System</i>
IP	-	<i>Internet Protocol</i>
IS	-	<i>Interim Standard</i>
ISDN	-	<i>Integrated Services Digital Networks</i>
ISO	-	<i>International Organization for Standardization</i>
JDBC	-	<i>Java Database Connectivity</i>
LBS	-	<i>Location-Based Services</i>
LES	-	<i>Location Enabling Server</i>
LMU	-	<i>Location Measurement Unit</i>
LS	-	<i>Location Server</i>
MS	-	<i>Mobile Station</i>
MSC	-	<i>Mobile Switching Center</i>
MSISDN	-	<i>Mobile Station International Subscriber Directory Number</i>
MSK	-	<i>Minimum Shift Keying</i>
MTSO	-	<i>Mobile Telephone Switching Office</i>
NGN	-	<i>Next Generation Networks</i>
NMT	-	<i>Nordic Mobile Telecommunication</i>
NTT	-	<i>Nippon Telephone & Telegraph</i>
OMA	-	<i>Open Mobile Alliance</i>
OMC	-	<i>Operational and Maintenance Center</i>
OMG	-	<i>Object Management Group</i>
OTD	-	<i>Observed Time Difference</i>

OTDOA	-	<i>Observed Time Difference of Arrival</i>
PCS	-	<i>Personal Communication(s) System</i>
PN	-	<i>Pseudo-Noise</i>
PS	-	<i>Processor Sharing</i>
QoS	-	<i>Quality of Service</i>
RDSI	-	<i>Rede Digital de Serviços Integrados</i>
RFID	-	<i>Radio Frequency Identification</i>
RTD	-	<i>Real-Time Difference</i>
RUP	-	<i>Rational Unified Process</i>
SCPC	-	<i>Single Channel per Carrier</i>
SGBD	-	<i>Sistema de Gerenciamento de Bases de Dados</i>
SIM	-	<i>Subscriber Identity Module</i>
SLIR	-	<i>Standard Location Immediate Request</i>
SMC	-	<i>Serviço Móvel Celular</i>
SMG	-	<i>Special Mobile Group</i>
SMLC	-	<i>Serving Mobile Location Center</i>
SMP	-	<i>Serviço Móvel Pessoal</i>
SMS	-	<i>Short Message Service</i>
SMSC	-	<i>Short Message Service Center</i>
SQL	-	<i>Structured Query Language</i>
TACS	-	<i>Total Access Communication(s) System(s)</i>
TCH	-	<i>Traffic Channel</i>
TCP	-	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	-	<i>Time Division Duplex</i>
TDMA	-	<i>Time Division Multiple Access</i>
TDOA	-	<i>Time Difference of Arrival</i>
TIA	-	<i>Telecommunications Industry Association</i>
TOA	-	<i>Time of Arrival</i>
UML	-	<i>Unified Modeling Language</i>
UMTS	-	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
U-TDOA	-	<i>Uplink Time Difference of Arrival</i>
VLR	-	<i>Visitor Location Register</i>
XML	-	<i>eXtensible Markup Language</i>
WAP	-	<i>Wireless Application Protocol</i>
WLAN	-	<i>Wireless Local Area Network</i>

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivações.....	2
1.2. Metodologia.....	3
1.3. Estrutura do Texto.....	4
2. A Telefonia	6
2.1. Alexander Graham Bell e o surgimento do Telefone.....	6
2.2. Estrutura do Sistema Telefônico Fixo	9
2.3. Sistemas Móveis	13
2.3.1. Telefones sem-fio.....	14
2.4. Primeira Geração de Telefonia Celular	16
2.4.1. Sistema de Telefonia Móvel Avançada.....	17
2.5. Segunda Geração de Telefonia Celular	24
2.5.1. Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo.....	25
2.5.2. Acesso Múltiplo por Divisão de Código	28
2.6. Sistema Global para Comunicações Móveis	32
2.6.1. Serviços do Padrão GSM.....	37
3. Simulação	40
3.1. Simulação de Sistemas de Comunicação	41
3.2. Etapas da Simulação	42
3.3. Emprego da simulação	45
3.4. Tipo e Estrutura de Simulação.....	48
3.4.1. Estrutura de um trabalho de simulação	50
3.5. Modelos de simulação.....	51
3.5.1. Modelos de Tráfego	52
3.5.2. Modelos de Mobilidade.....	56
3.6. Linguagem de Modelagem Unificada	61
3.6.1. Diagramas da UML.....	63
4. Tecnologias de posicionamento.....	69
4.1. Classificação das Tecnologias Existentes	70
4.1.1. Tecnologias Baseadas em Rede	70
4.1.2. Tecnologias Baseadas em Dispositivos.....	71
4.2. Ambientes de aplicação existentes.....	72
4.2.1. Tecnologias para Ambientes Internos	73
4.2.2. Tecnologias para Ambientes Externos	76
4.2.3. Características da Qualidade de Serviço	91
5. O Simulador.....	97

5.1. Os Serviços Baseados em Localização	99
5.2. O Servidor Habilitador de Localização – LES	103
5.2.1. As APIs do LES	104
5.3. A arquitetura proposta.....	107
5.3.1. Interface de Gerenciamento.....	110
5.3.2. Interface externa HTTP/HTTPS (WEB)	120
5.3.3. Base de Dados.....	123
6. A implementação do Simulador e comparação com a plataforma real.....	128
6.1. Comunicação entre o Simulador e as Aplicações Remotas.....	128
6.1.1. Identificação Porta / Protocolo.....	129
6.1.2. Respostas às Requisições.....	131
6.2. Implementação dos Controles de Simulação.....	135
6.2.1. Configuração do MSISDN	135
6.2.2. Configuração da Posição Geográfica Inicial	141
6.2.3. Configuração da Rota de Deslocamento	142
6.2.4. Configuração dos Parâmetros de Deslocamento.....	146
6.2.5. Configuração da Precisão da Informação Geográfica do Dispositivo	147
6.2.6. Configuração de Privacidade do Dispositivo	148
6.2.7. Configuração de uma Posição Específica.....	149
6.3. Comparações com a plataforma LBS da Siemens	152
6.3.1. Fonte de dados das informações dos dispositivos.....	152
6.3.2. Recursos de Hardware.....	155
6.3.3. Validação do Simulador	155
7. CONCLUSÃO.....	159
7.1. O Estágio Atual do Simulador e Trabalhos Futuros	162
REFERÊNCIAS	164

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o homem está vivendo na chamada Era do Conhecimento. Os Séculos XIX e XX ficaram marcados na história da humanidade por invenções como o automóvel, o rádio, o avião, o telefone e o computador, por exemplo. Invenções dessa natureza possibilitaram ao ser humano o deslocamento, o entretenimento, a comunicação e o acesso à informação. Com algumas delas diminuíram-se as distâncias, difundiu-se rapidamente o conhecimento e levou-se o homem ao espaço, dentre outras coisas. Mas nada disso seria possível se não houvesse a pesquisa o aprimoramento de cada invenção. Quem, hoje em dia, poderia imaginar a utilização diária de um gramofone ou de um telefone à manivela? Algo que no início parecia irrisório e desinteressante, hoje aparece como presença quase que obrigatória em muitos lares, fazendo parte do dia-a-dia das pessoas. Isso ocorreu pura e simplesmente porque elas evoluíram para satisfazer as necessidades que surgiam. O supérfluo ontem pode ter-se tornado imprescindível hoje.

Na área de tecnologia, a evolução vem acompanhada de novos serviços, sempre voltados para atender às necessidades da sociedade. Como exemplo, é correto afirmar que o telefone celular surgiu da necessidade de prover o serviço de telefonia a pessoas que passavam a maior parte do tempo em constante movimento. Para atender a mais clientes e com melhor qualidade, as melhorias ocorreram, novas tecnologias foram empregadas e novos serviços surgiram.

Este trabalho visa empregar modelagem matemática e computacional para facilitar o desenvolvimento de aplicações voltadas a serviços associados às redes de telefonia móvel celular. Mais especificamente, tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação (um simulador) para validação de aplicativos de software projetados para possibilitar a localização do usuário a partir de seu dispositivo móvel. Esse simulador é espelhado em uma plataforma real, a qual disponibiliza ao desenvolvedor uma interface de programação cuja documentação é padronizada e pública.

1.1. Motivações

Atualmente, já está consolidada a fusão dos campos de telecomunicações e informática. Essa rede conjunta possui um grande potencial para trazer benefícios àqueles que possam utilizá-la. Aos poucos, essa convergência vem tomando lugar no cotidiano das pessoas. Associar recursos de informática a áreas de desenvolvimento e planejamento de sistemas de comunicação já é uma realidade.

Na área de telefonia móvel celular, o que se busca é fornecer serviços inovadores para a sociedade, de modo que suas reais necessidades sejam atendidas e, muitas vezes, superadas. Porém, o impacto causado por mudanças, decorrentes de pesquisas em novos serviços e tecnologias, tem que ser minuciosamente determinado, para não atingir negativamente aos usuários. Uma prática que não pode ser empregada por uma empresa de telecomunicações para seus clientes é criar uma expectativa, com respeito a um novo sistema ou serviço, e não a poder atender. Assim, compreender bem as necessidades de seus usuários, entender o funcionamento da tecnologia empregada pela empresa e planejar a implementação da nova abordagem são requisitos essenciais para a boa prestação de serviço.

Ultimamente, os serviços baseados em localização (*Location-Based Services – LBS*) têm recebido especial atenção dos pesquisadores. Trata-se de uma área de pesquisa que procura empregar o dispositivo móvel como uma ferramenta de localização de seu proprietário. O tema surgiu de várias necessidades que vieram à tona: segurança de uma criança indo ao colégio; rastreamento de uma frota de caminhões; entretenimento de um grupo de adolescentes em um labirinto; localização de uma farmácia próxima da posição atual do usuário. Esses exemplos ilustram o quão abrangente pode ser o emprego de soluções baseadas em localização e incentivam o estudo desses serviços.

Trabalhar com “o novo” é sempre uma questão delicada. Muitas vezes, não existe a disponibilização de recursos necessários para a realização de um trabalho diretamente com o equipamento. Daí, o emprego de ferramentas alternativas surge como um meio de possibilitar a

evolução da pesquisa. A utilização de simuladores é uma delas. Um simulador proporciona ao usuário o trabalho nas mesmas condições (ou condições bastante aproximadas) do sistema real. Nesse ponto, uma ferramenta de simulação computacional é de grande importância, pois possibilita a flexibilização necessária para a realização de testes em cenários distintos, de forma simples e barata. O simulador de um equipamento permite ao usuário trabalhar com as funcionalidades do sistema real sem a necessidade de ter esse sistema em seu laboratório. Além disso, tratando-se especificamente de um equipamento provedor de um serviço. Assim, um simulador proporciona ao desenvolvedor um meio de validação de seu projeto em desenvolvimento, de forma rápida e eficaz.

1.2. Metodologia

Para o desenvolvimento da ferramenta de simulação, ou, simplesmente, do simulador, procurou-se empregar um processo dividido em etapas bem definidas, sempre apoiado por uma documentação das atividades a serem realizadas.

Inicialmente foi descrita a documentação da especificação funcional do software. Trata-se de um documento que descreve as funcionalidades a serem implementadas no desenvolvimento do projeto. Segundo esse documento, ficou definido que a aplicação a ser desenvolvida tem o objetivo de simular o serviço básico da plataforma de LBS da Siemens, ao prover informações de localização geográfica de dispositivos simulados. Tem a função de ser direcionada ao usuário final, de modo a lhe proporcionar uma ferramenta de validação de suas aplicações dependentes da informação de localização. Dessa forma, as limitações do projeto foram determinadas e documentadas.

A seguir, houve o detalhamento de implementação de toda a funcionalidade do simulador, determinando como essas funções deveriam operar e apresentando as comparações do simulador em relação ao sistema real. Esse detalhamento foi relatado no documento de especificação de projeto. Nesse texto estavam documentadas: a arquitetura proposta; a linguagem de programação utilizada; e a

estrutura do software e das tabelas do banco de dados, bem como quais os sistemas de gerenciamento escolhidos.

Seguiu-se, então, a programação do software de acordo com a arquitetura proposta, inicialmente pela interface web. A seguir, os módulos de interpretação e montagem de requisições. Por último, foram implementados os módulos de interface de cálculo e de base de dados.

Finalmente, foi escrito o documento de especificação de testes, que determinava os testes necessários para a validação do software como ferramenta de simulação do serviço básico da plataforma de LBS da Siemens. Durante os testes de validação, algoritmos de otimização de leitura da base de dados foram estudados e implementados, de forma a agilizar a busca de informações em uma base de dados com mais de 100.000 registros.

1.3. Estrutura do Texto

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, sendo o primeiro esta introdução. No capítulo 2, é apresentada a história da telefonia, do ponto casual que foi a descoberta do telefone até uma explanação sobre os sistemas de telefonia móvel celular atuais, apresentando alguns serviços existentes. Alguns conceitos apresentados nesse capítulo regem o funcionamento dos sistemas de LBS e, conseqüentemente, influem no funcionamento do simulador. Já o capítulo 3, versa sobre simulação, onde e por que utilizá-la, vantagens e desvantagens do seu emprego e quais os tipos existentes. Apresenta ainda alguns modelos de simulação voltados para os sistemas de comunicação. Alguns desses modelos foram utilizados, de modo adaptado, no desenvolvimento do aplicativo. O capítulo 4 apresenta alguns conceitos em tecnologias de posicionamento. Essas tecnologias fornecem os meios para a localização de dispositivos móveis em uma rede. Nesse capítulo, é possível conhecer os ambientes de aplicação existentes, bem como a classificação das tecnologias existentes. No capítulo 5, é explanado o conceito de serviços baseados em localização, além da apresentação da arquitetura

proposta para o simulador desenvolvido. As limitações e funcionalidades do simulador também são apresentadas e cada módulo da arquitetura é explicado. O capítulo 6 trabalha a implementação das funcionalidades do simulador, explorando cada uma das funções existentes e detalhando seu mecanismo de funcionamento. Além disso, apresenta uma comparação com a plataforma real e como foram efetuados os testes de validação do aplicativo como simulador da funcionalidade básica dessa plataforma. Por fim, no capítulo 7, surgem as conclusões e propostas de trabalhos futuros para a evolução da ferramenta.

2. A TELEFONIA

Na natureza, a grande maioria dos animais vive em sociedade. Essa é uma estratégia de sobrevivência. Desde os tempos mais remotos, principalmente por perceber que também se tratava de uma espécie mais frágil, o homem sentiu essa mesma necessidade de viver em sociedade. E como realizar esse anseio sem uma forma, mais rudimentar que seja, de comunicação. Esse processo de interação ira acontecer aos poucos, passando por transformações constantes, pois o passar dos anos trazia consigo novas necessidades para o homem da época. Nos séculos mais recentes, uma das mais desafiadoras consistia em possibilitar um meio de comunicação que atingisse grandes distâncias, de forma rápida e fiel. Assim, estudos levaram ao telégrafo e, posteriormente, ao telefone, um invento capaz de transmitir a voz por longas distâncias. Não fugindo aos inventos das eras que o precederam, o telefone também evoluiu, assim como novos conceitos e serviços foram desenvolvidos, para atender à chamada era da comunicação dos tempos atuais.

2.1. Alexander Graham Bell e o surgimento do Telefone

Em 3 de março de 1847, em Edimburgo, na Escócia, nascia Alexander Graham Bell. Desde criança, conviveu em uma família que ganhara tradição e renome como especialista na correção da fala e no treinamento de portadores de deficiência auditiva. Seu avô, Alexander Bell, foi professor de elocução e tornou-se especialista em foniatria (ramo da medicina que trata do estudo, diagnóstico e tratamento das patologias da voz, linguagem e audição), desenvolvendo considerável prática no tratamento dos defeitos da fala. O pai, Alexander Melville Bell, passou a interessar-se não só pelo som das palavras como pelas causas desse som. Estudou anatomia: laringe, cordas vocais, boca; habilitando-se a conceber o que chamava de “fala visível”. Os três possuíam o mesmo prenome:

Alexander. Até os 11 anos de idade, Graham Bell chamava-se simplesmente Alexander Bell, como o avô. Na escola, a professora sugeriu-lhe que adotasse mais um nome para distinguir-se dos ascendentes; depois de consultar os familiares, optou por Graham, em homenagem a um grande amigo de seu pai.

Alexander Graham Bell cresceu assim em um ambiente de estudo da voz e dos sons e também se interessou por esse campo, seguindo os passos do pai, ainda mais por sua mãe ter-se tornado surda muito jovem. Estudou na Universidade de Edimburgo e começou a fazer experimentos sobre pronúncia. Um amigo de seu pai lhe falou sobre a obra do cientista alemão Hermann von Helmholtz, que havia investigado a natureza física dos sons e da voz. Bell obteve uma cópia do livro e tentou lê-lo, mas a obra estava em alemão (que ele não entendia) e introduzia muitas equações e conceitos de física (incluindo eletricidade) que Bell não dominava. No entanto, a partir de alguns desenhos do livro, Bell ficou com a impressão de que Helmholtz havia conseguido enviar sons articulados (como vogais) através de fios, pela eletricidade. Na verdade, o que Helmholtz estava tentando fazer era sintetizar sons parecidos com a voz, utilizando aparelhos, e não transmitir sons à distância. No entanto, o engano de Bell fez com que ele começasse a pensar sobre os modos de enviar a voz à distância por métodos elétricos.

Em 1870, sua família mudou-se para o Canadá. Compraram uma casa em Tutelo Heights, perto de Brantford, província de Ontário. Era a “Casa Melville”, como lhe chamavam. Hoje é conservada como relíquia histórica com o nome de “solar dos Bell”. O pai de Bell era famoso e, em 1871, foi convidado a treinar professores de uma escola de surdos em Boston, nos Estados Unidos. Porém, preferiu continuar no Canadá e enviar o filho em seu lugar. Assim, Alexander foi para os Estados Unidos, e passou a ensinar o método de pronúncia desenvolvido por seu pai. [1]

Em 1872, Bell abriu sua própria escola para surdos em Boston e no ano seguinte tornou-se professor da Universidade de Boston. Foi nessa escola que viria a conhecer D. Pedro II, imperador do Brasil, em 1876, interessado em meios de educação para surdos-mudos. Nessa época, já havia se interessado por telegrafia e começado a estudar modos de transmitir sons utilizando a eletricidade. Durante os anos de 1873 e 1874, Bell fez experimentos procurando enviar notas musicais através da eletricidade. Ele pensava que suas tentativas poderiam levar a dois resultados diferentes. Por um lado,

se fosse possível transmitir um conjunto de notas musicais, seria possível também transmitir a voz humana – pois Helmholtz havia mostrado como era possível sintetizar sons articulados a partir de notas musicais. Por outro lado, a transmissão de diferentes notas musicais poderia ser utilizada para enviar muitas mensagens telegráficas simultaneamente pelo mesmo fio. Assim, ele iniciou o projeto do “telégrafo harmônico”. No entanto, de algum modo, Bell conseguiu a informação de que Elisha Gray, especialista em eletricidade e um dos fundadores da empresa de telégrafos *Western Electric Company*, também estava tentando construir um aparelho do mesmo tipo.

Ao solicitar equipamentos para seus experimentos, encontrou na empresa de aparelhos elétricos um jovem trabalhador chamado Thomas J. Watson. Esse rapaz tinha bons conhecimentos de eletricidade e grande habilidade manual na construção de aparelhos. Bell levou à empresa seus desenhos e pediu que fossem fabricados alguns modelos experimentais de seu telégrafo harmônico, Watson ficou encarregado desse trabalho. Durante muitos anos, Bell e Watson trabalharam juntos. Em junho de 1875, um acaso desencadeou uma série de mudanças nos experimentos de Bell. Ele e Watson estavam tentando fazer o telégrafo harmônico funcionar. Cada um deles ficava em uma sala, no sótão da oficina da empresa. Watson ligava os diversos eletroímãs que estavam em uma delas, e Bell ficava observando se os eletroímãs da outra sala vibravam corretamente. Como sempre, a coisa não estava funcionando direito. Para piorar, a lâmina de um dos transmissores não estava vibrando quando Watson ligava a pilha. Ela parecia estar presa, e Watson começou a puxar e soltar a lâmina, para ver se ela começava a vibrar como devia. O som foi ouvido por Bell do outro lado da linha. Daí em diante novas experiências foram feitas, e Bell se convenceu que conseguiria transmitir a voz humana a distância. Assim, em fevereiro de 1876, Bell entregou a versão final do pedido de patente do telefone ao Escritório de Patentes, em Washington. Porém a primeira transmissão perfeita só viria alguns dias depois, em março do mesmo ano. "*Mr. Watson come here, I need you*". Foi a primeira frase transmitida por Bell. Segundo alguns historiadores, o registro da patente aconteceu apenas algumas poucas horas a frente de seu rival Elisha Gray.[1]

Em 1876, uma exposição na Filadélfia, Estados Unidos, apresentou ao mundo a nova invenção recentemente patenteada por Graham Bell. Durante a feira, o aparelho inicialmente não despertou o interesse dos visitantes e ficou praticamente seis semanas sem ser notado. Quando a comissão de

juízes por fim se aproximou da mesa de Graham Bell, um deles apanhou o receptor do aparelho, olhou-o com pouco caso e tornou a colocá-lo no lugar. Nenhum outro juiz quis tocar o invento e o mesmo foi negligenciado. Porém, esse invento não passou despercebido a todos. Ao visitar a exposição, no dia 25 de junho, o imperador do Brasil, D. Pedro II, que era muito interessado em ciências, visitava a exposição e tratou de procurar Graham Bell. Bell aproveitou a oportunidade e estendeu um fio de um canto a outro da sala, dirigiu-se ao transmissor e pôs D. Pedro II em grande expectativa.

“- Ser ou não ser, eis a questão - falou Bell, sendo ouvido claramente pelo imperador”.

“- Meu Deus, isso fala! - exclamou, assombrado, D. Pedro II”.

Daí para frente, o reconhecimento veio rápido. Começava uma longa história. A história das telecomunicações, que revolucionaria o mundo dali em diante.

2.2. Estrutura do Sistema Telefônico Fixo

Após o reconhecimento de seu invento, Bell iniciou o comércio dos aparelhos telefônicos aos pares. Isso significava que os aparelhos funcionavam numa estrutura ponto-a-ponto, sendo interligados entre si através de uma linha única, com retorno pela terra. Se um proprietário de telefones desejasse conversar com mais de uma pessoa, pelo aparelho, ele deveria possuir linhas separadas ligando sua casa (ou escritório) aos demais destinos desejados. Com pouco menos de um ano, algumas cidades norte-americanas já estavam cobertas por fios que passavam através das casas e sobre as árvores. Tornou-se imediatamente óbvio que o modelo de interligação dos telefones entre si, conforme ilustrado na Figura 2-1, não funcionaria a contento, pois toda a estrutura de fios encontrava-se em uma enorme desordem. Na figura, cada assinante é representado por um ponto em um vértice e, com o crescimento do número de clientes, a desordem aumentaria cada vez mais, devido ao número de linhas necessárias para atendê-los.

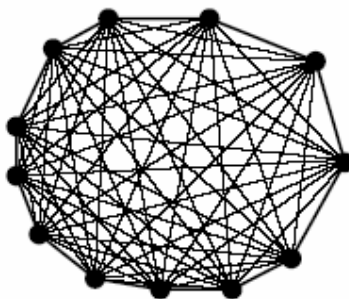


Figura 2-1: Estrutura de rede telefônica completamente interconectada (extraído de [2])

Foi ao observar esse fato e prever que uma mudança da estrutura deveria acontecer que Bell formou a *Bell Telephone Company*, em Boston, nos Estados Unidos. A primeira central telefônica foi aberta em New Haven, Connecticut, em 1878, com aproximadamente 800 terminais telefônicos [3]. O novo modelo de estrutura previa que os assinantes não deveriam permanecer interligados entre si, conforme apresentado na Figura 2-2. Dessa maneira, uma linha de transmissão seria ligada de cada aparelho para uma central. Ao desejar fazer uma chamada, o proprietário do aparelho deveria girar a manivela de um gerador, acoplada a seu equipamento, para fazer soar um alerta sonoro no escritório da companhia telefônica. Um operador, então, atendia a solicitação e fazia soar a campainha do telefone de destino. Quando atendida a chamada, o operador conectava as linhas do originador e do destino com um cabo (*jumper*). Essa operação foi então chamada de chaveamento centralizado ou comutação centralizada, pois uma chamada era inicialmente direcionada para um local intermediário, antes de alcançar seu destino através de um meio de interligação (nesse caso, o *jumper* manual).

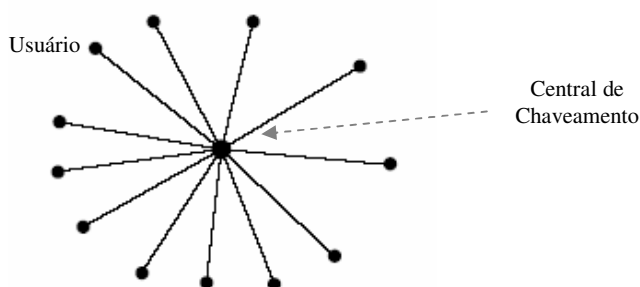


Figura 2-2: Estrutura da rede telefônica de chaveamento centralizado (adaptado de [2])

Com o passar dos tempos, as pessoas desejaram fazer chamadas de longa distância, entre cidades. Assim, iniciou-se a interligação das centrais de chaveamento. Então o problema original retornou: interligar cada uma das centrais às demais, através de conexões diretas, rapidamente tornaria a estrutura impraticável. Assim, centrais de interconexão foram inventadas. Elas ficaram conhecidas como centrais de comutação de segundo nível. No decorrer dos anos, outras múltiplas centrais de segundo nível se tornaram necessárias, como mostra a arquitetura da Figura 2-3. Nessa arquitetura, as centrais de chaveamento atendem diretamente aos usuários e as centrais de segundo nível proporcionariam a estrutura de conexão para as chamadas para longas distâncias.

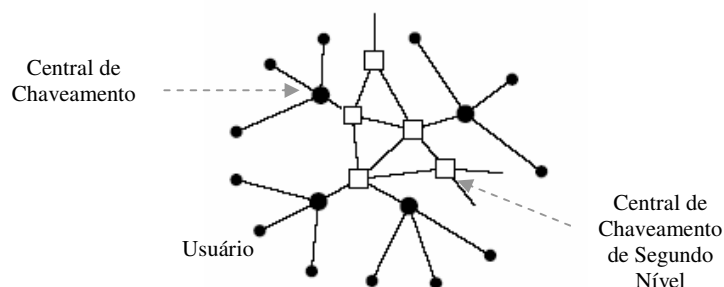


Figura 2-3 :Hierarquia de segundo nível (adaptado de [2])

Assim, em 1890, as três principais partes do sistema telefônico estavam criadas: as centrais de chaveamento; as linhas entre os assinantes e as centrais; e as conexões de longa distância entre as centrais dos níveis superiores, caracterizando uma rede. Desde então, o tradicional sistema telefônico sofreu muitas alterações nas tecnologias envolvidas, porém a sua arquitetura básica foi mantida.

Pouco tempo após a invenção do telefone e das centrais de comutação, surgiu a idéia de que a ligação entre as várias linhas telefônicas poderia ser feita automaticamente, sem a ajuda de operadores. Em 1889, um agente funerário da cidade de Kansas chamado Almon B. Strowger desconfiava das telefonistas e acreditava que elas propositadamente desviavam os chamados de seus clientes para um outro agente funerário. Por isso, ele resolveu inventar um sistema de comutação que dispensasse o uso das telefonistas. Assim, em uma central telefônica automática, a própria pessoa que queria telefonar enviava sinais elétricos especiais de seu aparelho para certos instrumentos na central telefônica, e esses instrumentos ligam a pessoa com o telefone desejado.

A partir da década de 50, com o início da exploração do processamento de dados em escala comercial, máquinas, ainda que rudimentares, foram empregadas para agilizar algumas tarefas cotidianas dos escritórios em diversas áreas [4]. A telefonia rapidamente absorveu essa tendência, automatizando seus escritórios de chaveamento. O reflexo dessas mudanças se deu na evolução dos elementos componentes da rede telefônica e nas tecnologias envolvidas na transmissão do sinal de voz.

Nessa época surgiu o conceito de canal de comunicação. Um canal de comunicação é definido como um meio que é estabelecido entre dois ou mais elementos em uma rede. Tem como finalidade específica transportar informação de um ponto dessa rede para outro. Suas limitações, quanto à capacidade de transmissão, dependem das características, até então elétricas e físicas, impostas pelos meios. Podem ser três tipos básicos: *Simplex*, *Half Duplex* e *Duplex*. No modo *Simplex*, a transmissão da informação se dá sempre no mesmo sentido. No modo de transmissão *Half Duplex*, também chamado de Semiduplex, apenas um elemento pode transmitir por vez, alternando ciclos de transmissão e recepção da comunicação. Já no *Duplex*, ou *Full Duplex*, a transmissão ocorre nos dois sentidos simultaneamente. Nesse modo, a primeira implementação utilizava duas frequências diferentes para trafegar a informação no canal, uma para transmissão e outra para recepção, sem que haja interferência entre elas, utilizando os conceitos de multiplexação em frequência [4].

Os meios de transmissão envolvidos em uma transmissão telefônica também evoluíram. Inicialmente, foi empregada uma única linha interligando o aparelho à central de comutação, com retorno pela terra. Posteriormente, para proporcionar um melhor isolamento do sistema em relação a uma referência de terra, foram empregados pares de fios de cobre. Esses fios, arrançados de forma trançada, permitiam reduzir a indução de ruídos e mantinham as propriedades elétricas constantes. Em seguida, surgiu o cabo coaxial, cuja estrutura física é apresentada na Figura 2-4. Tratava-se de um meio de transmissão bem mais eficiente que o par trançado, embora mais caro, pois sua arquitetura incorpora meios de protegê-lo de interferências eletromagnéticas externas. Isso é possível graças a uma blindagem existente através de uma malha que envolve o condutor coaxial. Em linhas gerais, o cabo coaxial possui um condutor interno circundado por um condutor externo, ambos separados por um material dielétrico, em geral plástico (polietileno ou PVC – policloreto de vinila).

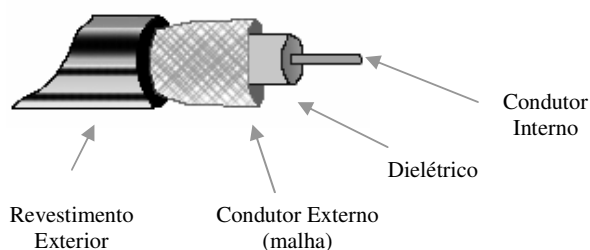


Figura 2-4: Estrutura Física de um cabo coaxial.

As fibras ópticas surgiram em seguida. Fibras Ópticas são capazes de transmitir a informação através de sinais de luz dentro do espectro de frequências do infravermelho: entre 10^{14} e 10^{15} Hz. A luz é enviada através de um cabo óptico, de material plástico ou de vidro, revestidos por um material de baixo índice de refração. Com isso, a luz fica confinada no condutor interno do cabo.

Devido a esse avanço tecnológico acentuado ocorrido nas últimas décadas, esse sistema telefônico tradicional começou a apresentar-se limitado para uma nova necessidade dos usuários, cada vez mais crescente: a mobilidade. Conseqüentemente, iniciou-se uma competição entre sistemas que utilizam ondas de rádio, em substituição aos cabos metálicos e fibras ópticas, na transmissão de sinais de comunicação.

2.3. Sistemas Móveis

Os primeiros sistemas que permitiam certo grau de mobilidade dos usuários e foram utilizados em larga escala foram os chamados sistemas de *Pager* [3]. Esse sistema foi idealizado para substituir o emprego de alto-falantes em um edifício, para anunciar alguma mensagem a uma determinada pessoa ou a um grupo de pessoas determinado. Especificamente para esse uso, foram desenvolvidos equipamentos que emitem pequenos sinais sonoros (*bips*) e, posteriormente, alguns que também possuem pequenas telas para mostrar curtas mensagens.

Uma pessoa que desejava se comunicar com um usuário do serviço de *pager* deveria chamar a companhia provedora do serviço, informar um código de segurança, o número do *pager* chamado e uma mensagem para ser enviada ao *pager* (que poderia conter um número telefônico). Ao receber a requisição, um computador enviaria a referida mensagem para uma antena e a mesma seria transmitida em *broadcast* para sua área de cobertura. Quando o equipamento móvel recebe esse sinal transmitido, detectando seu número particular, ele emite o sinal sonoro e apresenta na tela a mensagem enviada.

Alguns aperfeiçoamentos desse sistema foram efetuados, no sentido de se conectar diretamente a computadores e enviar não somente números de telefones, mas também mensagens de texto maiores. Além disso, também seria possível enviar uma mensagem para mais de um *pager* a partir de uma única chamada. Uma grande limitação desse sistema é o fato de possuir uma natureza unidirecional, isso é, uma mensagem era encaminhada sempre das antenas para os *paggers*. Além disso, esses sistemas atendiam, essencialmente, aos seguimentos comerciais, sendo difícil seu emprego em ambiente residencial, devido, principalmente, aos custos envolvidos [3].

2.3.1. Telefones sem-fio

Os telefones sem-fio surgiram para permitir que pessoas caminhassem pela casa ou escritório durante a realização de uma chamada telefônica. O sistema de telefone sem-fio consiste de duas partes: uma estação base e um telefone móvel. A estação base possui uma entrada padrão para ser conectada à rede telefônica que atende ao domicílio, através de uma linha de par metálico. O telefone se comunica com a estação base através de sinais de rádio de baixa potência e a distância média que esses elementos podem estar separados é tipicamente de 100 a 300 metros [3].

Inicialmente, devido ao fato de que os aparelhos telefônicos deveriam se comunicar apenas com suas respectivas estações base, pouco foi pensado em termos de padronizações. Alguns modelos mais baratos utilizavam uma frequência fixa em seus aparelhos, previamente configuradas na fábrica.

Se, por algum acaso, um telefone possuísse a mesma frequência de operação de um outro conjunto em sua vizinhança, cada um dos proprietários poderia ouvir a conversa telefônica do outro. A partir de situações como esta, de clara invasão de privacidade, foi iniciado um processo de padronização desses equipamentos, para garantir a qualidade de serviço, bem como a privacidade de seus clientes.

A primeira geração de telefones sem fio, conhecida nos Estados Unidos como CT-1 (*Cordless Telephone - 1*) e na Europa como CEPT-1 (*Conference of European Post and Telephone Administrations - 1*), era inteiramente analógica. Por essa natureza, em várias condições eles podiam causar interferência em equipamentos de rádio e televisão. A recepção pobre e as falhas de segurança do sistema, impulsionaram a indústria a desenvolver um padrão digital para os sistemas de telefones sem-fio. O chamado CT-2 (*Cordless Telephone - 2*) teve origem na Inglaterra e seus primeiros aparelhos podiam apenas receber chamadas e não as realizar. Rapidamente, os consumidores apresentaram sua frustração para os fabricantes e os mesmos tiveram que rapidamente re-projetar o sistema, para corrigir essa lacuna e possibilitar a realização das chamadas. Como na versão CT-1, no CT-2 cada telefone poderia se distanciar apenas algumas centenas de metros de sua estação base, mantendo o sistema em funcionamento em casas e escritórios. Porém uma nova necessidade dos consumidores surgiu: a possibilidade de fazer e receber chamadas telefônicas em seus carros ou em caminhadas pela rua, em quaisquer pontos de sua cidade ou país.

Em 1992, uma terceira geração, chamada de CT-3 ou DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*) foi desenvolvida e padronizada pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [5], suportando operações de deslocamento do telefone (*roaming*) entre estações base. Essa tecnologia é bastante semelhante aos sistemas de telefones celulares iniciais [3].

A telefonia celular revolucionou a arquitetura estática das redes de telefonia fixa, pois permitiu o deslocamento da estação móvel por qualquer distância na qual exista uma cobertura do sinal da provedora. Isso significa que o usuário tem a possibilidade de se deslocar por várias estações base, transparentemente, podendo utilizar seu aparelho em qualquer lugar ou instante, dentro da área de cobertura da operadora. Nos dias atuais, a telefonia celular já alcançou sua primeira e segunda gerações. A primeira geração se caracterizou por um sistema com canais de voz analógicos e que possibilitava apenas o serviço básico de telefonia. Já a segunda, apresentava uma arquitetura para

sistemas digitais, possibilitando o desenvolvimento de soluções além da transmissão da voz, como a transmissão de dados. Pesquisas já encaminham esses sistemas para uma terceira geração, porém esta ainda não se encontra completamente desenvolvida e seu emprego ainda está em estágios iniciais em alguns países mais desenvolvidos. As duas primeiras gerações são apresentadas nas seções a seguir.

2.4. Primeira Geração de Telefonia Celular

Rádio-telefones móveis foram utilizados esporadicamente para comunicações marítimas e militares durante as primeiras décadas do século 20 [2]. Em 1946, a *AT&T*, através do *Bell Labs*, desenvolveu o conceito de telefonia celular e estruturou o primeiro sistema de telefones para automóveis em Saint Louis, no estado de Missouri, Estados Unidos. Esse sistema utilizava um transmissor único no topo de uma torre de um edifício e possuía um único canal para transmissão e recepção. Para falar, o usuário deveria apertar um botão, que comutava seu aparelho, desabilitando o receptor e habilitando o transmissor. Sistemas como esses se encontravam instalados em várias cidades norte-americanas e européias no final da década de 50, principalmente para atender a viaturas policiais e táxis.

Em 1960, foi desenvolvida e instalada uma tecnologia chamada *IMTS (Improved Mobile Telephone System)*. Ela também utilizava um transmissor de alta potência (tipicamente 200W) no topo de uma torre, mas agora possuía duas frequências, uma para transmissão e outra para recepção. Dessa forma, como toda comunicação a partir de telefones móveis utilizaria um canal para transmitir e outro para responder, os usuários não mais conseguiriam ouvir os demais, como acontecia nos sistemas anteriores de um único canal.

O *IMTS* suportava 23 canais espalhados de 150MHz a 450MHz. Com esse pequeno número de canais, usuários freqüentemente deveriam esperar algum tempo antes de conseguir obter o tom de discagem. Também, por causa da alta potência dos transmissores no topo das torres, sistemas

adjacentes teriam que estar a muitas centenas de quilômetros distantes, para evitar problemas de interferência. Devido a essa capacidade limitada, esses sistemas se mostraram impraticáveis aos anseios dos consumidores e novas alternativas tiveram que ser alcançadas.

2.4.1. Sistema de Telefonia Móvel Avançada

Todo o conceito de telefonia móvel mudou quando, em 1970, a *Bell Labs* desenvolveu o primeiro sistema telefônico celular de alta capacidade, conhecido pela sigla AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) [2]. Esse sistema destinava-se à automóveis e sua aplicação era limitada tendo em vista a baixa durabilidade das baterias, além de atender um baixo número de usuários. Em 1971 a Bell propôs ao órgão regulador de telecomunicações norte-americano FCC (*Federal Communications Commission*) a construção desse que seria o primeiro sistema telefônico celular. Essa proposta não foi posta em prática devido à complexidade do sistema de controle. No Japão, a NTT (*Nippon Telephone & Telegraph*) lançou em 1979, na cidade de Tóquio, um sistema bastante semelhante, já prevendo a incorporação dos conceitos de redes de telefonia celular, chamado de MCS-L1 (*Mobile Control Station – Level 1*) [6]. Um AMPS melhorado, que já trabalhava como uma rede de telefonia móvel, foi instalado inicialmente em 1982 nos Estados Unidos e entrou em operação comercial em Outubro de 1983. Posteriormente, sistemas semelhantes ao AMPS (alguns baseados nessa tecnologia) foram adotados em outros países como no Reino Unido, onde era chamado de TACS (*Total Access Communication(s) System(s)*) [2]. Nos países nórdicos foi adotado o padrão chamado NMT (*Nordic Mobile Telecommunication*) [2].

Todos esses sistemas eram bastante parecidos entre si, sendo que as principais diferenças concentraram-se no uso do espectro de frequência e no espaçamento entre canais. O AMPS, por exemplo, utilizava 869-894 MHz para recepção e 824-849 MHz para transmissão; o NMT-450

operava na faixa de 463-468 MHz para recepção e 453-458 MHz para transmissão; enquanto que o NMT-900 trabalha na faixa de 935-960 MHz para recepção e 890-915 MHz para transmissão. Com relação ao espaçamento entre canais, por exemplo, o sistema AMPS adotava 30 kHz, enquanto que o TACS e vários outros sistemas adotaram 25 kHz, etc. [2].

No padrão AMPS, uma certa região geográfica seria dividida em células, cobrindo tipicamente 10 a 20 Km, cada uma utilizando um determinado conjunto de frequências. A idéia chave, que possibilita ao AMPS possuir maior capacidade que os sistemas anteriores, é o emprego de células pequenas e a reutilização de frequências de transmissão em células próximas, mas não adjacentes. Visto que, em sistemas IMTS, da década de 60, a cada 100 Km pode haver apenas uma chamada em cada frequência, em AMPS pode-se obter 100 células de 10 Km, em uma mesma área, e possibilitar 10 a 15 chamadas em cada frequência, em células distintas e largamente separadas. Além disso, menores células significam transmissores menos potentes, o que acarreta na diminuição de tamanho e custo dos equipamentos envolvidos. Telefones portáteis analógicos trabalham com 0.6 watts. Transmissores para automóveis trabalham com cerca de 3 watts. Esses valores são os máximos permitidos pelo FCC (*Federal Communications Commission*) [7] e adotados em vários países.

A idéia da reutilização de frequências é apresentada na Figura 2-5(a). As células reais possuem áreas de cobertura aproximadamente circulares, mas são mais facilmente modeladas como hexágonos. Nessa figura, todas as células possuem o mesmo tamanho e estão agrupadas juntas em unidades de sete células (A, B, C, D, E e F). Cada letra indica um grupo de frequências. É observado que, para cada conjunto de frequência, existe um uma área coberta por duas células onde esse grupo de frequências não é reutilizado. Dessa maneira, por exemplo, o grupo de frequência A só pode ser reutilizado em áreas que estejam separadas por duas células de distância. Isso permite uma boa separação e baixa interferência entre esses grupos de frequência reutilizados.

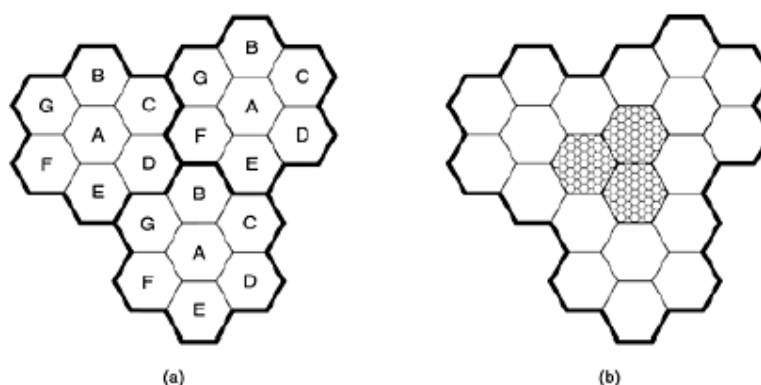


Figura 2-5: Reutilização de frequência nas células (extraído de [2])

Em áreas com um maior crescimento do número de usuários, do ponto de vista de sobrecarga do sistema, pode-se utilizar a estratégia de reduzir a potência dos transmissores das células sobrecarregadas e essas são subdivididas em células menores, para permitir uma maior reutilização de frequências, como mostrado na Figura 2-5(b).

No centro de cada célula encontra-se a estação base para qual todos os telefones que estão na célula transmitem. Uma estação base consiste de um computador e um transmissor/receptor conectado a uma antena. Em um sistema menor, todas as estações base são conectadas a um equipamento chamado MTSO (*Mobile Telephone Switching Office*), também conhecidos como MSC (*Mobile Switching Center*) [2]. Em sistemas maiores, muitos MSC's podem ser necessários, os quais são interligados a MSC's de segundo nível, e assim sucessivamente. Os MSC's são essencialmente centrais comutadoras, como nos sistemas de telefonia, e estão, de fato, conectados a, no mínimo, um elemento de controle da rede telefônica da operadora.

A todo instante, cada telefone móvel que está em uma célula específica, fica sob o controle da estação base daquela célula. Quando existe um deslocamento da estação móvel de uma célula para outra (distanciando-se de sua estação base), a estação base original do equipamento percebe a diminuição do nível de potência do equipamento móvel e requer às estações vizinhas um exame em suas áreas de cobertura para saber qual delas está recebendo um melhor sinal do referido móvel. Ao identificar qual a estação base que tem essa melhor recepção do sinal, a estação original transfere a responsabilidade do controle desse usuário para essa estação vizinha, que representa a nova célula em

que o telefone móvel está localizado. O telefone é, então, informado de seu novo controlador e, se uma chamada está em curso, esse controlador solicita ao aparelho que altere essa chamada para um novo canal, pois o antigo não pode ser reutilizado na célula adjacente. Esse processo é chamado de *handover*, e leva aproximadamente 300ms. Toda a alocação de canal é feita pelo MSC, que funcionam como o cérebro da rede de telefonia. Nessa arquitetura, as estações base são apenas chaveadores de rádio, pois nenhuma inteligência é atribuída a esse elemento da rede. A diferença principal entre um MSC e uma central de comutação fixa é que a MSC tem que levar em consideração a mobilidade dos assinantes (locais ou visitantes), inclusive o *handover* da comunicação quando estes assinantes se movem de uma célula para outra.

Por ser o primeiro dos sistemas celulares a se destacar, é importante apresentar três aspectos abordados pelo AMPS: (i.) Canais de Frequência; (ii.) Gerenciamento de Chamada; e (iii.) Segurança.

i. Canais de Frequência

Conforme rapidamente mencionado anteriormente, o sistema AMPS utiliza 832 canais que possibilitam a comunicação bi-direcional (*full-duplex*), cada um consistindo de um par de canais unidirecionais (*simplex*). Existem 832 canais de transmissão *simplex* na faixa de 824 a 849 MHz, e 832 canais de recepção *simplex* na faixa de 869 a 894 MHz. Cada um desses canais *simplex* possui uma largura de 30 KHz. Para a separação desses canais, o AMPS utiliza a técnica de multiplexação por divisão em frequência (*Frequency Division Multiplexing – FDM*) [4]. Na técnica de FDM, o espectro de frequência é dividido em canais lógicos, com cada usuário tendo a posse de uma banda de frequência. Assim, o acesso ao canal é conhecido como Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (*Frequency Division Multiple Access – FDMA*) [8]. Esse esquema é ilustrado na Figura 2-6. Nela, quatro usuários (1, 2, 3 e 4) utilizam individualmente um canal de frequência distinto, durante todo o tempo. No AMPS, para cada um desses usuários, um canal de largura 30 kHz é disponibilizado. Já para o TACS, é especificado um canal de largura 25 kHz.

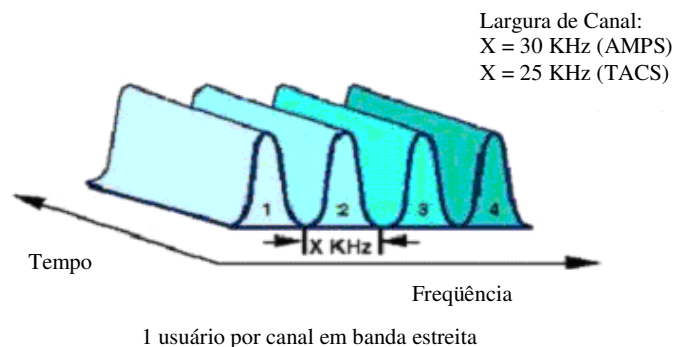


Figura 2-6: FDMA.

Observando o espectro de frequências, na faixa de 800 MHz, próxima às frequências utilizadas no AMPS, as ondas de rádio possuem um comprimento de onda aproximado de 40cm e trafegam em linhas retas. Elas podem ser absorvidas em árvores e plantas e refletem em relevo e construções. É possível que um sinal enviado por um telefone móvel alcance a estação base por um caminho direto, mas também porções ligeiramente atrasadas desse sinal podem ser captadas, depois de sofrer reflexões no caminho. Isso pode causar o efeito de eco ou distorção no canal.

A alocação de canal no FDMA possui uma característica peculiar. Nessa modalidade de acesso, um esquema de canal único por portadora (*Single Channel per Carrier – SCPC*) faz com que cada portadora seja alocada a apenas um usuário até o fim de sua comunicação. Isso significa que o usuário ocupa a faixa de frequência a ele designada como se fosse um canal dedicado.

ii. Gerenciamento de Chamada

Cada telefone móvel, no sistema AMPS, possui dois números identificadores: um número serial de 32 bits; e um número telefônico de 10 dígitos em uma memória programável interna de acesso aleatório (PROM). Segundo a especificação do FCC (*Federal Communications Commission*) [7], o número telefônico foi definido para ser representado pela concatenação de três dígitos do código de área (10 bits) e sete dígitos do número de assinante (24 bits).

O processo de identificação do aparelho em uma rede AMPS, quando o mesmo é ligado, inicia-se com uma varredura em uma lista de canais de controle pré-programados, para encontrar um

sinal de maior potência. O aparelho, então, transmite seu número serial de 32 bits e seu número telefônico de 34 bits. Como todo controle de informação no AMPS, esse pacote é enviado em formato digital, múltiplas vezes, e com códigos corretores de erro, apesar dos canais de voz serem analógicos. Ao receber esse sinal, a estação base informa ao MSC, que armazena a existência do “novo usuário” e também informa ao MSC que estava controlando esse equipamento anteriormente a sua nova localização. Durante sua operação, esse registro dos telefones móveis é realizado uma vez a cada quinze minutos.

Para realizar uma chamada, o usuário digita o número desejado e pressiona o botão enviar (*SEND*) de seu aparelho. O equipamento, então, envia o número do destinatário e sua própria identificação para a central, via o canal de acesso do sistema. Quando a estação base capta o requerimento, ela informa ao MSC, que por sua vez procura por um canal desocupado para alocar a chamada. Após encontrar a informação desejada, o MSC encaminha o número do canal de volta para o aparelho, via canal de controle. O telefone móvel, ao receber essa transmissão, comuta para o canal de voz selecionado e a conexão está estabelecida.

Para as chamadas recebidas, o procedimento trabalha diferente. Após se identificar junto à rede AMPS, o aparelho recebe a informação dos canais existentes. Dentre eles, há um canal unidirecional que a rede utiliza para o envio de informações da estação base para o aparelho, quando o mesmo está ligado, mas sem realizar chamadas. Esse é o canal de *paging*. De início, todos os equipamentos que estão desocupados “escutam” continuamente esse canal para detectar transmissões direcionadas a eles. Quando uma chamada é direcionada para um telefone móvel, um pacote de dados é enviado para o MSC de origem do aparelho, para encontrar onde ele está. Outro pacote de dados é, então, enviado para a estação base, que cobre a célula onde o telefone está, que por sua vez transmite um sinal no canal de *paging* para todas as estações móveis em sua célula, realizando um *broadcast*. Esse sinal tem o intuito de perguntar se o aparelho desejado continua lá. O aparelho responde com um “afirmativo” via canal de controle. A estação base, então, informa-o que existe uma chamada destinada a ele e indica o canal já alocado pelo MSC. Por fim, o aparelho comuta para o canal informado e começa a emitir o sinal de chamada.

iii. Segurança

A telefonia celular com canais de voz analógicos é considerada bastante insegura [3]. Qualquer um, com um receptor de rádio (*scanner*) apropriado, pode sintonizar e ouvir tudo que está sendo transmitido em uma célula. Como a maioria dos usuários não estava consciente de quão inseguro era o sistema, eles freqüentemente apresentavam informações pessoais, como números de cartão de crédito, através de suas conversas telefônicas.

Outro grande problema é alta vulnerabilidade à clonagem dos códigos das linhas dos assinantes. Com um receptor anexado a um computador, o intruso poderia monitorar o canal de controle e armazenar os 32 bits do número serial e os 34 bits do número de telefone de todos os aparelhos que pudesse sintonizar. Então, teria condições de configurar um outro aparelho com essas informações e utilizar para suas chamadas. Esse golpe só seria descoberto depois que a vítima recebesse a sua conta telefônica, semanas depois de realizadas as chamadas alheias, com tempo suficiente para o ladrão re-configurar o aparelho com outro número roubado.

A área de segurança também abrange questões que dizem respeito à danificação de antenas e estações base. Em várias situações, esses equipamentos deveriam ser instalados em locais mais suscetíveis ao vandalismo. Na grande maioria das vezes, a substituição do equipamento era necessária e, devido a isso, essa preocupação foi incorporada aos projetos de ampliação e estruturação das redes.

Todos esses são problemas bastante graves e com isso a tecnologia AMPS tornou-se rapidamente restritiva. Somando-se aos fatos anteriores, a baixa qualidade de voz e a capacidade de transferência de dados limitada a 9,6 kbps, nesses sistemas, traziam enormes transtornos e prejuízos as operadoras. Tais fatores foram responsáveis por um aumento da ordem de centenas de milhões de dólares por ano, nos gastos da indústria de celulares. Além de todos esse problemas, com relação aos serviços oferecidos, o AMPS proporciona um número bastante reduzido, não suportando facilidades como identificação de chamada e serviços de mensagens instantâneas (*Short Message Service – SMS*). Esse conjunto de variantes foi determinante para a pesquisa e o desenvolvimento de alternativas que suprissem as necessidades dos usuários.

2.5. Segunda Geração de Telefonia Celular

O mercado de telefonia celular, principalmente nos Estados Unidos, cresceu rapidamente. Naquele país existia praticamente um único sistema, o AMPS, que era totalmente analógico e havia atingido o limite de sua capacidade nas maiores áreas metropolitanas. Nos outros países, a diversidade de sistemas não excluiu suas redes de telefonia de enfrentar os mesmos problemas. Em função da pressão pela demanda, foi necessário dar início ao desenvolvimento de sistemas digitais. O desenvolvimento que se deu nos Estados Unidos e na Europa tomaram caminhos distintos a partir de então.

Inicialmente, alguns sistemas digitais foram propostos nos Estados Unidos, porém apenas dois deles conseguiram se estabelecer. O primeiro deles era totalmente compatível com o esquema de alocação de frequência do AMPS e está especificado em normas conhecidas como IS-54 (*Interim Standard 54*) e IS-136, do Instituto Nacional Americano de Padrões (*American National Standards Institute – ANSI*) [9]. O segundo é baseado na seqüência direta de propagação do espectro de frequência e encontra-se especificado na norma IS-95 [9]. Esses sistemas são apresentados nas subseções a seguir.

Na Europa, durante o desenvolvimento dos sistemas digitais, ocorreu o processo oposto ao norte-americano. Cinco sistemas analógicos completamente distintos estavam em operação em diferentes países [3]. Assim, uma pessoa que possuísse um aparelho habilitado na Inglaterra, por exemplo, não poderia utilizá-lo na França. Essa experiência levou os provedores de telecomunicações e os órgãos reguladores dos países europeus a idealizarem um sistema digital comum para o continente. Esses estudos resultaram no sistema GSM [2] (*Global System for Mobile Communications*), no qual os serviços de localização, alvo deste trabalho, foram inicialmente especificados. Devido a esta importância, o sistema GSM é apresentado em uma seção à parte.

A subseção a seguir apresenta a descrição dos sistemas desenvolvidos nos Estados Unidos.

2.5.1. Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo

As normas IS-54 e IS-136 referem-se ao primeiro sistema digital desenvolvido, o Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (*Time Division Multiple Access – TDMA*) [8]. Esse sistema apresenta sensível melhoria do aproveitamento das ondas portadoras do sinal de rádio em relação ao analógico. Enquanto o analógico ocupa toda a faixa de frequência durante todo o tempo, o sinal TDMA o faz durante intervalos de tempo, atribuídos a diferentes ligações telefônicas, alternadamente. Como isso, foi possível aumentar em pelo menos três vezes, sem perda de qualidade, a capacidade dos sistemas. Esses sistemas trabalham em modo analógico ou digital (*dual mode*) e utilizam os mesmos canais de 30 kHz empregados pelo AMPS, daí chegarem a ser inicialmente chamados de D-AMPS ou *Digital AMPS* [2]. Cada canal pode ser compartilhado por três usuários a uma taxa de 48,6 Kbps, onde cada um desses usuários obtém uma taxa de 13 Kbps. O restante é utilizado para controle e sinalização do sistema. A diferença entre o IS-54 (versão inicial) e o IS-136 é que o primeiro apresentava canal de controle analógicos. Células, estações base e MSC's trabalham do mesmo modo como em AMPS. Apenas a sinalização digital e a codificação digital da voz operam de maneira diferente do sistema AMPS.

A transmissão digital do TDMA permite uma considerável economia de energia em relação ao AMPS, pois não precisam estar transmitindo de forma contínua. Essa característica, aliada a evolução da tecnologia de baterias dos terminais móveis, possibilitou um grande incremento no tempo de operação dos terminais sem necessidade de recarga.

O TDMA permite implementação em faixa estreita e faixa larga. No TDMA faixa larga, toda ou grande parte da banda disponível é alocada a cada usuário por determinado intervalo de tempo, denominado *slot*. Em cada *slot* de tempo apenas um usuário terá acesso a toda (ou grande parte da) banda. No TDMA faixa estreita, o usuário tem acesso a uma pequena porção da banda por determinado intervalo de tempo (*slot*). A Figura 2-7 ilustra o conceito TDMA faixa estreita, dividindo o acesso a uma mesma frequência por três usuários distintos (1, 2 e 3). Enquanto no FDMA, Figura

2-6, cada usuário utiliza uma frequência específica, no TDMA existe o compartilhamento do canal por mais de um usuário. Existe ainda a possibilidade de um usuário utilizar mais de um *slot*, dependendo da configuração do sistema. No TDMA faixa larga não haveria as subdivisões faixa 1, faixa 2, ... faixa M, ou elas seriam em número muito reduzido comparado ao faixa estreita.

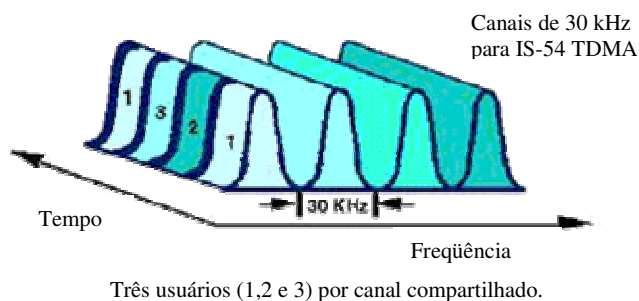


Figura 2-7: TDMA Faixa Estreita.

O canal TDMA é definido pelas duas combinações [porção da banda (faixa), *slot*] alocadas ao usuário, para o link direto e reverso. O TDMA permite implementação de comunicação bidirecional *full-duplex*, podendo-se utilizar divisão no tempo (*Time Division Duplex – TDD*) [10] ou na frequência (*Frequency Division Duplex – FDD*) [10]. No TDD, as duas direções de comunicação utilizam uma mesma faixa de frequências comum, mas instantes de tempo distintos. Por outro lado, no FDD, cada sentido utiliza faixas distintas de frequências, separadas convenientemente para evitar interferências, permitindo um *full-duplex* real, pois a informação pode trafegar nos dois sentidos, simultaneamente. O TDD requer sincronização e tempo de guarda entre *slots* de ambos os sentidos, também para evitar interferência. Observa-se que o TDD, por utilizar a mesma faixa de frequências, permite que a comunicação mantenha a mesma qualidade em ambos os sentidos.

Como visto, uma única portadora é compartilhada em vários slots de tempo, ou seja, é compartilhada por vários usuários, cada qual em seu instante determinado. Esse mecanismo diferencia o TDMA do FDMA, empregado no AMPS, pois, no FDMA existe o SCPC (*Single Channel per Carrier*), que aloca apenas um usuário por canal. A estrutura de quadro (*frame*) e *timeslot* do TDMA está ilustrada na Figura 2-8. Nela, existe um feixe de dados divididos em quadros, onde cada um desses quadros contém quatro *timeslots*. No feixe de dados, o segundo *timeslot* é destacado para

ilustrar sua periodicidade e esse destaque é mantido na apresentação do quadro. Além disso, esse *timeslot* é ampliado de forma a ilustrar como a informação do usuário é inserida no quadro e como são dispostos os períodos de guarda, necessárias para sincronismo. Assim, a transmissão entre dispositivo móvel e estação base é feita de forma não contínua, mas em rajadas, ocorrendo apenas no instante de tempo (*timeslot*) reservado para que o móvel transmita e/ou receba. Nos demais instantes de tempo, outros usuários poderão ter acesso à mesma portadora sem, portanto, que as comunicações interfiram entre si.

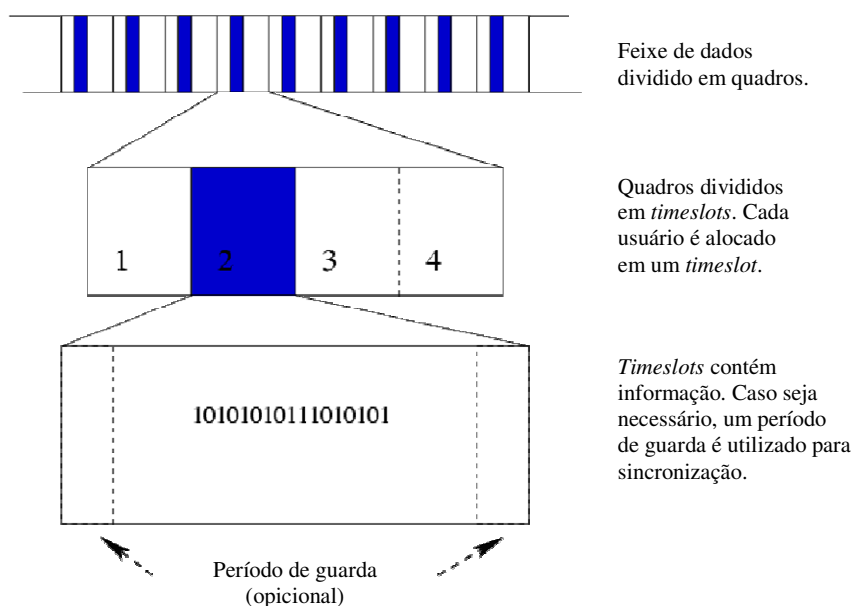


Figura 2-8: Estrutura de quadro e *timeslot* do TDMA.

O crescimento da utilização dos sistemas celulares digitais, chamados de segunda geração, explicitou algumas deficiências, sob a ótica do usuário, tais como: a não existência de transferência automática de ligações entre sistemas (*roaming*) global; e o desempenho insatisfatório na transmissão de dados e multimídia. Por conta dessas e de outras demandas, ficou clara a necessidade de desenvolvimento de outra tecnologia (a terceira geração), que incorporaria serviços mais avançados.

Como esta terceira geração ainda não estava completamente definida, uma geração intermediária foi idealizada. Essa geração ficou conhecida como 2,5. Os principais representantes dessa categoria, que englobam as gerações 2 e 2,5, são o CDMA (apresentado a seguir) e o GSM.

2.5.2. Acesso Múltiplo por Divisão de Código

A norma IS-95 [11] refere-se a um padrão subsequente que revolucionou os conceitos empregados na comunicação entre estações móveis e estações base, o Acesso Múltiplo por Divisão de Código (*Code Division Multiple Access* – CDMA) [8]. A família de normas da TIA (*Telecommunications Industry Association*) IS-95 [11], dos Estados Unidos, padronizou os sistemas celulares digitais de segunda geração conhecidos popularmente como CDMA, ou “cdmaOne”, e que são baseados no IS-95. Esta tecnologia foi em grande parte desenvolvida pela empresa americana Qualcomm [12] e tem a estrutura básica dos sistemas celulares, oferecendo as mesmas funcionalidades básicas associadas à mobilidade como *roaming* e *handover* entre células.

Diferentemente dos demais sistemas, onde o múltiplo acesso de vários terminais a uma mesma estação base é feito alocando-se uma frequência para cada terminal (AMPS), ou compartilhando uma mesma faixa de frequência, mas transmitindo em tempos diferentes (TDMA), no CDMA o acesso múltiplo de canais que compartilham uma mesma banda de frequências é feito pela utilização de códigos diferentes pelos vários terminais. O CDMA emprega a técnica de espalhamento espectral (*spread spectrum*), na qual o sinal de informação é codificado utilizando-se uma chave de código que provoca esse espalhamento em uma determinada banda. Com isso, o sinal é transformado aparentemente em ruído. Para separar os canais, adota um código de espalhamento espectral diferente para cada comunicação e a informação é extraída destes canais conhecendo-se a chave específica com a qual cada canal é codificado.

O número de usuários em uma célula no CDMA é limitado pelo nível de interferência presente, que é administrado através de controle de potência e outras técnicas. O objetivo é diminuir a interferência em células adjacentes que utilizam a mesma banda de frequências, mas códigos diferentes. Com esta tecnologia, houve aumento de até sete vezes na capacidade do sistema em comparação ao sistema AMPS.

A Figura 2-9 apresenta a arquitetura básica do sistema celular CDMA (IS-95). Nela podemos observar os principais componentes da rede. As estações móveis são os terminais utilizados pelos assinantes. Cada estação móvel (*Mobile Station – MS*) da rede é identificada por um número individual chamado de Número de Identificação Móvel (*Mobile Identification Number – MIN*), além de um número de série eletrônico (*Electronic Serial Number – ESN*).

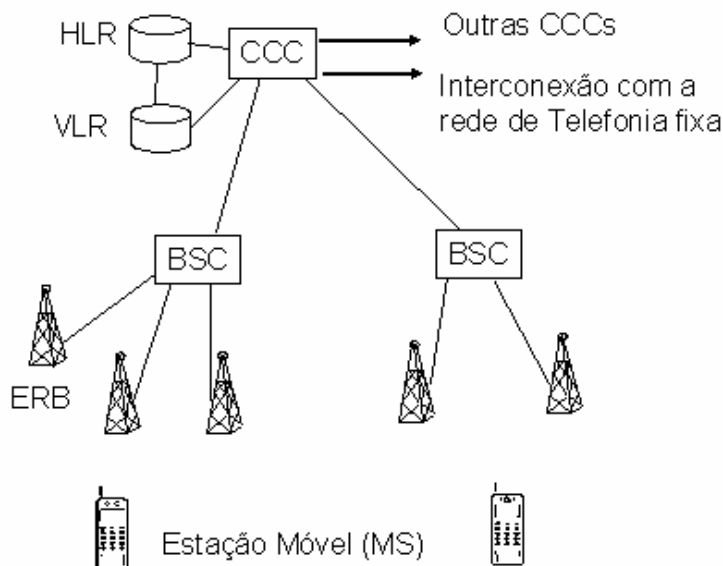


Figura 2-9: Arquitetura Básica do CDMA.

As estações rádio base (ERB) são os equipamentos encarregados da comunicação com as estações móveis em uma determinada área. Cada ERB constitui uma célula. Central de Comutação e Controle (CCC) é outra denominação para o MSC e é responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas em uma área geográfica designada como a área da CCC. *Home Location Register* (HLR), ou Registro de Assinantes Locais, é a base de dados que contém informações sobre os assinantes de um sistema celular, enquanto que *Visitor Location Register* (VLR), ou Registro de Assinantes Visitantes, é a base de dados que contém informações sobre os assinantes em visita (*roaming*) a um sistema celular.

As bandas do CDMA são divididas em canais de RF, onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 1,25 MHz de banda cada. Teoricamente poderiam existir, portanto, até 10 canais de RF em uma banda de 12,5 MHz como ocorre na faixa de 800 MHz. Na

prática o número é menor, pois esta banda é dividida com o AMPS (com uma faixa para transmissão e outra para recepção) e é necessário estabelecer uma guarda banda, para evitar interferência.

Os códigos empregados no espalhamento espectral podem ser ortogonais (Walsh) ou PN (“*Pseudo-noise*”) [13]. O emprego de um ou de outro, depende das características do projeto. Um bit deste tipo de código é conhecido como “*chip*”, enquanto que a taxa de bits deste código é chamada de “*chip rate*”. Esse tipo de espalhamento espectral é denominado espalhamento espectral por seqüência direta. O CDMA utiliza três tipos de código todos com uma taxa de 1,2288 *megachips* (Mchips). O código Walsh empregado no espalhamento espectral é um conjunto de 64 códigos ortogonais (W0 a W63) binários. Um sinal digital é modulado no código Walsh multiplicando-se cada um de seus bits por um dos números Walsh. Por exemplo, sinal de 3 bytes (24 bits) modulado Walsh resultaria num sinal de $3 \times 64 = 192$ bytes (1536 bits). Na demodulação de um sinal Walsh o receptor deve conhecer qual o número Walsh está sendo usado pelo transmissor. São feitas várias tentativas de comparação com uma das funções do código. Quando ocorrer uma coincidência na comparação todo o restante do número Walsh pode ser sincronizado e decodificado.

O código PN consiste em seqüências de 1's e 0's, à uma taxa maior que a taxa dos bits de transmissão, com propriedades ortogonais. Ou seja, as seqüências possuem baixos valores de autocorrelação, de modo que a demodulação só possa ser feita utilizando a mesma seqüência utilizada na modulação. Se outra seqüência diferente for utilizada, o sinal obtido será próximo de zero. No CDMA utiliza as modalidades de PN longo e PN curto. O PN longo trata-se de um conjunto de $4,398 \times 10^{12}$ códigos diferentes ($2^{42} - 1$), gerados por um registrador de deslocamento de 42 bits. Já os PN curtos compõem-se de um conjunto de 32.767 códigos diferentes ($2^{15} - 1$), gerados por um registrador de deslocamento de 15 bits.

Também na comunicação entre estação móvel e estação base, o CDMA emprega esquemas de codificação diferentes em cada direção do enlace. O CDMA emprega seis canais, dos quais quatro operam no sentido estação base para estação móvel e dois no sentido inverso. No sentido da estação base para estação móvel, os canais piloto, *paging*, de sincronismo e tráfego empregam os códigos Walsh, PN longo para criptografia e PN curto. Já no sentido da estação móvel para a estação base, os canais de tráfego e acesso empregam PN longo e PN curto, além de Walsh para modulação.

A Figura 2-10 traduz uma situação de carregamento de um canal de RF do CDMA, com “N” usuários. Quanto mais usuários utilizam o canal maior o ruído, aumentando a interferência para os canais que utilizam a mesma banda até um limiar quando não é mais possível decodificar os canais. Essa interferência também é tanto maior, quanto maior for a potência individual de cada canal transmitido naquela banda. Esse comportamento motivou o desenvolvimento de um sofisticado mecanismo de controle de potência nos terminais e estações base de um sistema CDMA. Esse controle de potência leva também à expansão e à contração do raio de uma célula CDMA conforme o seu carregamento com tráfego.

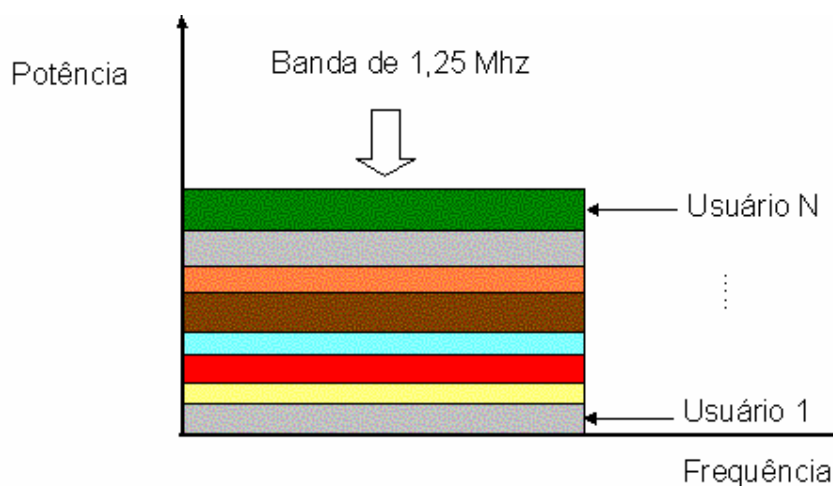


Figura 2-10: Carga de um canal CDMA

A setorização de células é usada para reduzir a interferência, uma vez que cada setor utiliza antenas direcionais e não interfere nos demais setores da célula. Um dos fatores que contribui para a grande capacidade alcançada por sistemas CDMA é a possibilidade de utilização de reuso total, ou seja, a mesma frequência de portadora é reutilizada em todas as células. Por isso, a eficiência de utilização do espectro, ou capacidade de um sistema CDMA (IS-95), é maior que os demais sistemas existentes AMPS, TDMA (IS-136) e GSM (*Global System for Mobile Communications*).

O protocolo desenvolvido pela TIA (*Telecommunications Industry Association*), dos Estados Unidos, para implementar a sinalização entre redes celulares e possibilitar o *roaming* entre operadoras é o IS-41 [11]. Ele é o protocolo utilizado por sistemas baseados em padrões desenvolvidos pela TIA, como: AMPS, TDMA (IS-136) e CDMA (IS-95).

2.6. Sistema Global para Comunicações Móveis

Na Europa, no início dos anos 80, quando o celular analógico foi lançado, quase ao mesmo tempo houve um estudo conjunto franco-germânico voltado à tecnologia celular digital e à possibilidade da criação de um sistema pan-europeu. Em 1982, um comitê de trabalho especial, o *Groupe Spécial Mobile* (GSM) foi criado no CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) [14] para analisar e continuar o estudo franco-germânico. Os trabalhos avançaram a um ponto onde houve estabelecimento de um núcleo permanente de pessoas designadas para a continuação do trabalho e a criação de normas para um sistema digital do futuro. No final de 1986, o memorando de entendimento, ou MoU [14], como foi denominado, foi assinado por mais de 18 países. Este memorando declarava que os signatários participariam do sistema GSM e o colocariam em operação até 1991. Em 1989, o GSM foi transferido para a organização ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*, ou Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações). Uma vez sob o controle do ETSI, o sistema GSM teve o seu nome alterado para Sistema Global para Comunicações Móveis (*Global System for Mobile Communications*). Os comitês de trabalho do sistema tiveram o seu nome mudado de GSM para SMG (*Special Mobile Group*, ou Grupo Móvel Especial). Essas mudanças foram feitas para evitar confusão entre o nome do sistema (GSM) e o grupo de pessoas que trabalham nas especificações (SMG), e também para colocar os nomes no idioma de trabalho oficial do ETSI (inglês). Em 1990, foi criado um novo ramo da especificação GSM – o DCS1800 [15].

As especificações originais do DCS1800 foram desenvolvidas simplesmente como versões editadas dos documentos do GSM900. O GSM também possui a estrutura básica dos sistemas celulares e oferece as mesmas funcionalidades básicas dos demais associadas à mobilidade como *roaming* e *handover* entre células. O interesse no GSM espalhou-se rapidamente fora da Europa. A Austrália foi o primeiro país não europeu a juntar-se ao MoU, em 1992. Desde então, muitos outros países asiáticos adotaram o GSM. Atualmente, existe um MoU pan-asiático, que analisa os acordos de

roaming internacionais. As especificações da Fase II para o GSM já foram definidas, combinando os documentos do GSM900 e DCS1800; diversos recursos novos foram incluídos ao sistema, juntamente com muitos pequenos ajustes. A próxima etapa é a Fase II+, que definirá a inclusão de novos serviços específicos como dados e fax para o GSM e o DCS 1800.

Uma diferenciação apresentada no GSM, em relação aos demais sistemas, encontra-se em sua arquitetura de rede. Nesse sistema, alguns elementos são introduzidos aos já conhecidos para dar suporte a novas possibilidades de serviços e aplicações introduzidos em sua rede celular. A Figura 2-11 ilustra isso. Nela observa-se que as estações móveis (MS) continuam sendo os terminais utilizados pelos assinantes, porém agora cada um deve ser carregado com um cartão inteligente conhecido como SIM Card ou Módulo de Identidade do Assinante (*Subscriber Identity Module*). Sem o SIM Card a estação móvel não está associada a um usuário e não pode fazer nem receber chamadas.

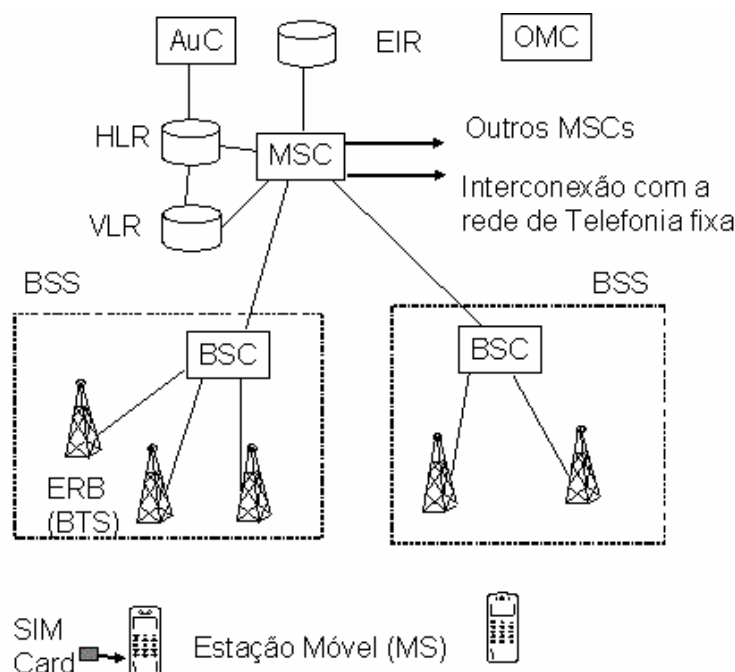


Figura 2-11: Arquitetura básica GSM.

Uma vez contratado o serviço junto a uma operadora, o usuário passa a dispor de um SIM card que, ao ser inserido em qualquer terminal GSM, faz com que este passe a assumir a identidade do proprietário do SIM Card. O SIM card armazena, entre outras informações, um número de 15 dígitos que identifica unicamente uma dada Estação Móvel denominado Identidade Internacional do

Assinante Móvel (*International Mobile Subscriber Identity* – IMSI). Já o terminal é caracterizado por um número também com 15 dígitos, atribuído pelo fabricante, denominado Identidade Internacional do Equipamento Móvel (*International Mobile Station Equipment Identity* – IMEI).

Nessa arquitetura surge o conceito de Sistema de Estações Base (*Base Station Subsystem* – BSS). BSS é o sistema encarregado da comunicação com as estações móveis em uma determinada área. É formado por várias *Base Transceiver Station* (BTS) ou ERBs, que constituem uma célula, e um *Base Station Controller* (BSC), que controla estas BTSs. O MSC continua no papel de central responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas na sua área (área do MSC). HLR (*Home Location Register*) e VLR (*Visitor Location Register*) são as bases de dados que contém, respectivamente, a informação sobre os assinantes de um sistema celular e os assinantes em visita (*roaming*) a um sistema celular. O Centro de Autenticação (*Authentication Center* – AUC) é responsável pela autenticação dos assinantes no uso do sistema. O Centro de Autenticação está associado a um HLR e armazena uma chave de identidade para cada assinante móvel registrado naquele HLR possibilitando a autenticação do IMSI do assinante. É também responsável por gerar a chave para criptografar a comunicação entre MS (*Mobile Station*) e BTS. O Registro de Identidade de Equipamento (*Equipment Identity Register* – EIR) é a base de dados que armazena os IMEIs dos terminais móveis de um sistema GSM enquanto que o Centro de Operação e Manutenção (*Operational and Maintenance Center* – OMC) é a entidade funcional através da qual a operadora monitora e controla o sistema.

O GSM foi padronizado para operar em três bandas de frequências bem definidas: 900 MHz; 1800 MHz; e 1900 MHz. Cada uma dessas bandas resultou em denominações distintas para o sistema: GSM 900; DCS 1800; e PCS 1900.

O GSM 900 é o sistema GSM original e é adotado na Europa. Esse sistema utiliza frequências em torno da banda de 900 MHz, tendo sido projetado para a operação celular em uma área ampla. Possui seu canal de *uplink* (transmissão de sinal no sentido estação móvel – estação base) operando entre 880 MHz e 915 MHz, enquanto que seu canal de *downlink* (transmissão de sinal no sentido: estação base – estação móvel) está entre 925 MHz e 960 MHz. Para esse sistema as unidades móveis com valores de potência de saída de 1 a 8W são as mais comuns.

Quanto ao DCS1800 (*Digital Cellular System*) é um sistema GSM que opera na faixa de 1800 MHz e também é empregado na Europa. O DCS1800 é uma adaptação do GSM900 e sua criação envolveu a ampliação das bandas reservadas ao GSM e a passagem destas a 1,8 GHz. O padrão DCS1800 foi criado para permitir a formação das PCN (Redes de Comunicações Pessoais – *Personal Communications Networks*), aumentando a concorrência no mercado de comunicações celulares. Utiliza seu canal de *uplink* entre 1710 MHz e 1785 MHz e seu canal de *downlink* entre 1805 MHz e 1880 MHz. As unidades móveis DCS1800 são também projetadas para potências de saída menores (até 1W); portanto, os tamanhos das células devem ser menores, levando a densidades ainda maiores. Em todos os outros aspectos, o GSM900 e o DCS1800 são iguais, assim o termo GSM pode ser usado coletivamente para descrever os padrões GSM900 e DCS1800.

Nos EUA, foi liberada uma banda em torno de 2 GHz para um PCS (*Personal Communication(s) System* – Sistema de Comunicações Pessoais). Diferentemente da Europa e Extremo Oriente, os detentores das licenças de PCS não seriam forçados a usar uma determinada tecnologia rádio. Os três principais concorrentes para esses serviços seriam o GSM, CDMA e TDMA, que teriam uma cobertura nacional. A pronta disponibilidade do equipamento GSM e a especialização tornou o GSM a 1,9 GHz bastante atraente para muitas operadoras. As operadoras de PCS1900 uniram-se para formar o *North American Interest Group* e ajudaram a promover o desenvolvimento do GSM. Em termos técnicos, o PCS1900 é idêntico ao DCS1800, exceto pela alocação de frequência e níveis de potência. O primeiro sistema PCS comercial foi lançado pela *American Personal Communications* (APC) com o nome de *Sprint Spectrum* em novembro de 1995, baseado no PCS1900. O PCS1900 opera com um canal de *uplink* na faixa de 1850 MHz a 1910 MHz e com um canal de *downlink* na faixa de 1930 MHz e 1990 MHz.

As Bandas do GSM são divididas em canais de RF, onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 200 KHz de banda cada. Existem, portanto, 124 canais de RF no GSM 900 e 373 canais no DCS 1800. Esses canais receberam uma numeração conhecida como ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). O GSM utiliza um formato de modulação digital chamado de 0,3 GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). O 0,3G descreve a Banda do Filtro Gaussiano de pré-modulação utilizado para reduzir o espectro do sinal modulado. MSK [13]

(*Minimum Shift Keying*) é um tipo especial de modulação FSK [13] (*Frequency Shift Keying*) onde 1's e 0's são representados por deslocamentos na frequência da portadora de RF. Quando a taxa de bits do sinal modulante é exatamente quatro vezes o deslocamento da frequência da portadora consegue-se minimizar o espectro e a modulação é chamada de MSK (*Minimum Shift Keying*). No caso do GSM, a taxa de dados de 273,833 kbit/s foi escolhida para ser exatamente quatro vezes o deslocamento da frequência de RF (+/- 67,708 kHz). Este sinal digital de 270,833 kbit/s é dividido no domínio do tempo em 8 intervalos (*slots*) de tempo possibilitando o múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA) das Estações Móveis. O GSM assim como o TDMA (IS-136) é uma combinação de FDMA e TDMA.

No GSM nenhum canal de RF ou time *slot* está designado a priori para uma tarefa particular. A informação do usuário (voz e dados) e os dados de controle de sinalização são transmitidos em dois tipos básicos de canais lógicos que vão ocupar a estrutura do quadro (*frame*) TDMA: canal de tráfego (*Traffic Channel – TCH*) e canal de controle (*Control Channel – CCH*). Os canais de tráfego suportam duas taxas de informação: Completa (*Full*) e Meia (*Half*) possibilitando que um canal de RF tenha de 8 (oito) canais (*Full Rate*) a 16 (*Half Rate*). O *Half Rate* é implementado pela ocupação alternada do mesmo *slot* físico por dois canais lógicos.

Ainda nos canais de tráfego, é possível encontrar 3 tipos de codificadores de voz (*vocoder*): o *Enhanced Full Rate* (EFR) e o *Full Rate* com taxa de 13 kbit/s, além do *Half Rate* com taxa de 9,6 kbit/s. A eficiência de utilização do espectro, ou capacidade de um sistema GSM, é maior que a do AMPS e menor que um sistema TDMA (IS-136). Em uma Banda de 30 kHz o AMPS tem capacidade para uma chamada telefônica e o TDMA três. Já o GSM em 200 kHz tem capacidade para oito chamadas. Em compensação por apresentar menos interferência co-canal os sistemas GSM utilizam um reuso de frequência de 4 por 12 enquanto no AMPS e TDMA o normal é de 7 por 21, o que propicia uma melhor utilização do espectro por parte do GSM. Se o GSM utilizar um recurso, previsto nas especificações, de saltos de frequência (*Frequency Hopping – FH*) é possível, inclusive, a utilização de esquemas de reuso de frequências mais eficientes [15].

A especificação do padrão GSM incorporou uma série de serviços utilizando a Rede Digital de Serviços Integrados – RDSI (ou a sigla inglesa para *Integrated Services Digital Networks – ISDN*). O

sucesso do padrão GSM excedeu as expectativas e ele é atualmente o padrão mais popular para sistemas celulares e equipamentos de comunicação pessoal em todo o mundo. Para atingir esse resultado, foi fundamental a abertura do padrão por parte da ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), de modo a permitir que redes GSM pudessem ser implementadas utilizando componentes de diversos fabricantes. Dessa maneira, o desenvolvimento de serviços especificamente idealizados para essas redes foi simplificado, pois a arquitetura da rede seria independente do fabricante do equipamento. Isso inclui a categoria de serviços de localização, que estão entre os objetivos de estudo deste trabalho.

2.6.1. Serviços do Padrão GSM

As especificações do GSM procuraram, de início, reproduzir na rede móvel os serviços que estariam disponíveis na rede fixa através da ISDN (Rede Digital de Serviços Integrados) padronizada pela ITU (*International Telecommunications Union*) [16]. Os serviços do padrão GSM são divididos em tele-serviços e serviços de dados. Os tele-serviços incluem: a telefonia móvel padrão e tráfego originado pelo terminal móvel ou pela estação rádio base. Os serviços de dados incluem a comunicação entre terminais de computadores e tráfego por chaveamento de pacotes. O sistema telefônico tradicional utiliza o chaveamento por circuito, isto é, caso se deseje conversar com outra pessoa pelo telefone, ao discar o número de destino, os elementos da rede da operadora estabelecem um circuito fixo através do qual passarão as informações. Esse circuito fica mantido até que a ligação seja encerrada. O chaveamento por pacotes foi desenvolvido baseando-se na constatação de que os canais estabelecidos para uma chamada telefônica ficavam ociosos uma grande parte do tempo. Este tempo ocioso poderia ser aproveitado para enviar outras mensagens. Assim sendo, a mensagem é dividida em pacotes. Cada um desses pacotes é assinalado com o endereço de destino e é tratado pelo

sistema como uma entidade independente. Dessa maneira, os pacotes passam pela rede através do caminho que, naquele instante, estiver menos congestionado.

A estrutura flexível dos canais físicos do GSM, bem como a utilização do protocolo SS7 [17], facilitaram a introdução desses serviços que foram divididos nos grupos:

- *Bearer Services*: serviços de transporte de dados usados para conectar dois elementos de uma rede como acesso ao X.25 com taxas de transmissão de dados na faixa entre 2400 e 9600 bit/s;
- *Teleservices*: serviços de comunicação entre dois assinantes como telefonia, serviço de mensagens instantâneas (*Short Message Service* – SMS) e FAX;
- *Serviços Suplementares*: as redes GSM suportam dezenas de serviços suplementares, tais como identificação do número originador, chamada em espera, siga-me e conferência.

A padronização do GSM tem avançado na definição de outros serviços adicionais, desde sua concepção original. O SMS e esses outros serviços adicionais, como imagens e sons, são normalmente implementados utilizando-se *gateways* entre a BSC e o MSC (Figura 2-11).

Alguns desses serviços aparecem em destaque nas especificações atuais do GSM. Tratam-se de serviços que incorporam à tecnologia algumas soluções que não eram possíveis nos sistemas anteriores, principalmente por estimular o desenvolvimento das chamadas redes de próxima geração (*Next Generation Networks* – NGN), que englobam a convergência entre as redes de voz, dados e multimídia. São eles:

- **GPRS**: o GPRS (*General Packet Radio Service*) é um serviço para comunicação de dados que permite a estação móvel uma conexão com a Internet, sem a necessidade de se estabelecer uma chamada telefônica (*always on*). Este serviço pode utilizar até os 8 *timeslots* de uma canal GSM de 200 KHz o que implica em uma taxa que teoricamente poderia chegar a 115 kbit/s;
- **EDGE**: o EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) é um padrão desenvolvido para aumentar a taxa de dados para serviços oferecidos pela rede GSM. Este aumento é obtido pelo uso de um novo tipo de modulação (8 BPSK [15]) para a portadora dos canais de RF em substituição a usada atualmente 0,3 GMSK. É possível desta forma oferecer 48 kbit/s por *slot* de tempo o que possibilitaria o oferecimento de conexões IP de até 384 kbit/s. Esta solução

mantém a estrutura básica de canalização do GSM implicando na instalação de transceptores com modulação 8 BPSK para os canais de RF dedicados a esta aplicação;

- 3G: a evolução do GSM para serviços de terceira geração com taxas de dados de até 2 Mbit/s vem sendo padronizada pelo *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. Esta evolução exigiu a definição de um novo padrão para a interface entre Estação Móvel e ERB com canais de RF de 5 MHz. Este novo padrão (*Universal Mobile Telecommunications System – UMTS* [8]) implicará em mudanças na estrutura de canalização do GSM exigindo uma banda adicional de frequências para implementação do serviço por parte das operadoras, mantendo, no entanto, a compatibilidade e demais interfaces da arquitetura GSM;
- Serviços de Localização: os serviços de localização padronizados para o GSM permitem estimar com precisão a localização da estação móvel servindo de base para vários serviços oferecidos ao assinante.

Dentre esses serviços, o foco principal deste trabalho está voltado para os Serviços de Localização. A importância desse tipo de serviço vem se tornando cada vez mais evidente a medida em que as soluções surgem e agregam valor e praticidade à vida dos usuários de telefonia móvel. Para desenvolver sistemas que ofereçam esses serviços, existe a necessidade de um planejamento de investimento em pesquisa e desenvolvimento. Mas apenas isso não é o suficiente, pois muitas vezes as cifras envolvidas nos trabalhos podem ser demasiadamente altas, inviabilizando o desenvolvimento. Para tentar diminuir os custos de desenvolvimentos de sistemas baseados em serviços de localização, algumas ferramentas de auxílio possibilitam o retorno esperado sem demandar gastos elevados. Dentre essas ferramentas estão os simuladores e as técnicas de simulação, que serão abordadas no próximo capítulo.

3. SIMULAÇÃO

Simulação é a representação do funcionamento de um sistema ou processo através do funcionamento de outro sistema ou processo similar (simulação em computador de um processo industrial); análise de um problema nem sempre sujeita à direta experimentação, pelo uso de um artifício de simulação [18]. Enquanto isso, o simulador é o elemento que simula; especificamente uma ferramenta que possibilita ao operador reproduzir ou representar sob condições de teste um fenômeno, assim como acontece em seu desempenho real [18].

Em outras palavras, simulação é a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema através de modelos. Esses modelos imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos dos sistemas em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado. Podemos entendê-la como o uso de modelos para o estudo de problemas reais de natureza complexa, através da experimentação computacional. Assim, a simulação consiste no processo de construção de um modelo que replica o funcionamento de um sistema real (ou idealizado). Além disso, permite a condução de experimentos computacionais com esse modelo. Ela tem o objetivo de melhor entender o problema em estudo, testar diferentes alternativas para sua operação e, assim, propor melhores formas de operá-lo.

Um bom exemplo de simulação é aquele usado na indústria aeronáutica, onde a aerodinâmica dos aviões em projeto é testada em túneis de vento através de pequenas maquetes que apresentam o mesmo formato do avião, ou seja, é o "modelo" do avião real. Essa técnica é aplicada pois seria completamente inviável construir todo o avião e tentar fazê-lo voar com pilotos de prova. A perda de vidas e investimentos seria enorme e certamente as aeronaves não seriam como são hoje em dia.

A evolução vertiginosa da informática nos últimos anos tornou o computador um importante aliado da simulação. A simulação por computador é usada nas mais diversas áreas, citando como exemplos treinamento de estratégia para militares, pilotagem de veículos ou aviões e planejamento de redes de telecomunicações. Isso é possível, pois o computador é alimentado com as propriedades e

características do sistema real, criando um ambiente "virtual" – o modelo, que é usado para testar as teorias desejadas. O computador efetua os cálculos necessários para a interação do ambiente virtual com o objeto em estudo e apresenta os resultados do experimento no formato desejado pelo analista.

A simulação permite que se faça uma análise do sistema em questão sem a necessidade de interferir no mesmo. Todas as mudanças e conseqüências, por mais profundas que sejam, ocorrerão apenas com o modelo computacional e não com o sistema real. Trata-se de um estudo de baixo custo, visto que todo o trabalho de implementação é testado no computador, permitindo ainda o teste de cenários e alternativas de solução inúmeras, para o sistema em estudo.

Este trabalho é focado em um estudo de emprego da simulação em telecomunicações, assim, está restrito aqueles aspectos pertinentes a essa área.

3.1. Simulação de Sistemas de Comunicação

A complexidade dos sistemas de comunicação e processamento de sinais cresceu consideravelmente nas décadas passadas [13]. Enquanto essa evolução acontecia, o tempo e o esforço necessários para a análise e projeto desses sistemas também aumentavam. Isso se deveu ao fato de que a evolução dos sistemas de comunicação trouxe consigo equipamentos mais robustos, tecnologicamente aprimorados e mais baratos. Com a necessidade de empregar as novas tecnologias em produtos comerciais rapidamente, tornou-se primordial que os projetos fossem implementados de maneira rápida, simples e barata. Essa demanda só poderia ser atingida através do uso de poderosas ferramentas de projeto e análise computacional.

Construir modelos e executar simulações são atividades que possuem uma larga variedade de características e considerações que, segundo Jeruchin [13], podem ser divididas em duas categorias: a “ciência” e a “arte” da simulação. A primeira categoria abrange os aspectos quantitativos e melhor criticados analiticamente. Por sua vez, a “arte” engloba um conjunto de considerações parcialmente,

ou talvez nem tanto, relacionadas a questões teóricas ou quantificáveis (ou difíceis de serem descritas dessa forma). Não obstante, essas questões são fundamentais para a construção de simulações e a obtenção dos resultados. Essas últimas considerações e a maneira como são tratadas essencialmente formam a metodologia da simulação. O limite que separa a “arte” da “ciência” na simulação é algo bastante subjetivo, mas não se torna crítico para o desenvolvimento das atividades.

Idealmente, alguém poderia sugerir que uma simulação é uma réplica perfeita do sistema real. Para muitos casos, se não a maioria, esse objetivo só poderia ser alcançado de maneira custosa em termos de complexidade ou tempo de processamento (que é medido em termos do número de ciclos de *clock* da CPU). No intuito de reduzir esse problema para uma forma mais bem gerenciável, com aproximações aceitáveis, uma variedade de técnicas ou abordagens foi desenvolvida. Essas técnicas e abordagens podem ser logicamente divididas em dois níveis. O primeiro é o nível de “modelagem”, onde o interesse está na representação do sistema (ou de funções específicas ou processos internos ao sistema) da maneira mais simples possível, consistente com um grau aceitável de aproximação. O segundo nível é o de “avaliação de desempenho”, onde o objetivo principal é estimar a medida de performance apropriada para um dado sistema.

Independente do nível ou da categoria em que se enquadre uma determinada simulação, existem características que são necessárias em todas elas. De maneira modular, a simulação deve atender a uma seqüência de estágios macros, que por sua vez englobam as várias tarefas específicas a cada simulação. Essas características comuns são conhecidas como as etapas da simulação.

3.2. Etapas da Simulação

A técnica de simulação computacional de sistemas em seus primórdios era extremamente complicada, devido à necessidade de modelagem matemática dos sistemas e a implementação de algoritmos em linguagens de programação. Com o surgimento de ferramentas conhecidas como

linguagens orientadas à simulação, na década de 50, tornou-se mais fácil à modelagem de sistemas. Com o passar dos anos essas linguagens foram se desenvolvendo e outras ferramentas foram adicionadas a elas, de modo a torná-las uma das ferramentas mais poderosas para o projeto de sistemas como um todo. Como exemplo, existe a Linguagem de Descrição de Hardware (*Hardware Description Language* – HDL [19]), que é empregada para a descrição de elementos de hardware computacional e possui muitas variantes: *Analog Hardware Description Language* – AHDL[20], *Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language* – VHDL [21]. Além disso, a consolidação de linguagens de programação, como C [22], e o surgimento de conceitos de orientação a objetos – C++[23], Java[24] e *Object Pascal* (ou *Delphi Programming Language* [25]) – permitiram ao desenvolvedor trabalhar com ferramentas que lhe permitiam personalizar seus aplicativos.

Esse desenvolvimento das linguagens foi crucial para o progresso da simulação. Durante sua evolução, houve a idealização de estágios que seriam comuns a qualquer atividade. Desta forma, observando a Figura 3-1, podemos resumir as principais tarefas realizadas numa aplicação prática de simulação em três etapas: Construção do modelo, Modelagem Computacional e Experimentação.

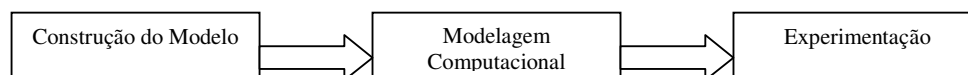


Figura 3-1 :Etapas em um processo de Simulação

Um dos passos fundamentais do processo de simulação consiste numa boa compreensão do problema em estudo e na construção de um modelo que melhor expresse o seu funcionamento. Esse passo está representado na primeira etapa da simulação. Embora existam ferramentas e abordagens próprias para o processo de modelagem, este será sempre um misto de arte e ciência. Inicialmente, este modelo será de natureza lógica/conceitual, representações gráficas em papel com inúmeras anotações. Depois, dependendo do recurso computacional a ser utilizado, este modelo lógico/conceitual será traduzido para um programa de simulação, também denominado modelo computacional. Nesse ponto, os principais objetivos do problema a ser estudado devem ser determinados e qual a resposta que o modelo deve dar para os tomadores de decisão.

A modelagem computacional pode ser compreendida como o conjunto de ações objetivando traduzir o modelo lógico/conceitual do sistema de interesse em um modelo operacional. Como tal, essa modelagem abrange três outras etapas fundamentais, e que também devem ser cuidadosamente trabalhadas, no processo de simulação: a coleta de dados e sua modelagem estatística, a programação, utilizando um software apropriado à natureza do problema, e a verificação e validação da solução proposta. Isso se encontra ilustrado na Figura 3-2. Desse modo uma operação ou sistema é traduzido em termos de regras, ações e tempos de processo.

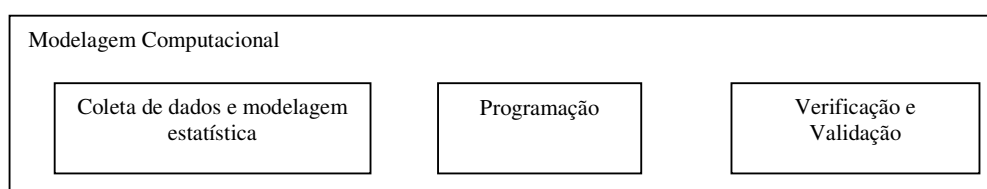


Figura 3-2 :Etapas da Modelagem Computacional

O primeiro módulo apresentado na Figura 3-2 corresponde a todo esforço necessário para a determinação de todas as informações pertinentes ao sistema de interesse. Com ele, é possível obter todas as características do ambiente e do modelo que foram previamente entendidos, idealizados e planejados na fase de construção do modelo. De posse desses dados, uma modelagem estatística de eventos pode ser realizada. Essa modelagem depende diretamente do tipo de informação que se deseja simular e da fidelidade que a resposta deve fornecer ao analista. Um exemplo de modelagem estatística é a distribuição de probabilidade de ocorrência de um determinado evento, como o deslocamento de um móvel.

A etapa de programação engloba a utilização da ferramenta computacional que melhor se adequa ao sistema e às necessidades do analista em relação ao sistema que se deseja simular. Geralmente, essas ferramentas são linguagens ou ambientes de programação especificamente desenvolvidos para proporcionar ao analista o ambiente necessário para que se desenvolva o modelo planejado. O desenvolvimento do modelo na etapa de programação avança desde a captura dos dados até a apresentação das respostas da simulação, passando pela implementação dos algoritmos da modelagem estatística definida.

Finalmente, chega-se o momento em que o programa desenvolvido deve ser posto em operação, para verificação e validação. Nessa etapa, o programa deve trabalhar nas mesmas condições e possuir as mesmas características do sistema real. Assim, os dados informados ao programa devem ser previamente conhecidos para que ele forneça uma resposta ao analista. Essa resposta deve ser confrontada com uma resposta obtida com o sistema real a partir das condições que foram impostas ao simulador. Nesse momento, o programa simulador é validado ou corrigido, para atender aos requisitos do sistema a ser simulado e do ambiente em que o mesmo está operando, de modo a fornecer os mesmos resultados do sistema real.

Após a modelagem computacional (Figura 3-1), construído e devidamente validado o modelo computacional, a última etapa é o teste experimental de alternativas de ações, para escolha das mais adequadas. Utilizando processos da experimentação estatística e o apoio de análises consistentes dos resultados obtidos, é possível sugerir as melhores alternativas a seguir ou recomendações que se façam necessárias. Essa fase consiste no teste de diferentes alternativas, utilizando a representação do sistema real, que é o modelo de simulação.

Assim, resta identificar e entender onde e porque a simulação pode ser empregada. Além disso, é importante conhecer onde empregar a simulação e quais suas vantagens e desvantagens.

3.3. Emprego da simulação

Avaliar alternativas de ação nunca foi uma tarefa das mais fáceis, principalmente quando os resultados da escolha de uma determinada alternativa não são totalmente previsíveis. Antes da implementação de um novo processo ou da adoção de uma nova tecnologia, é preciso ter uma idéia antecipada dos seus possíveis resultados seja para confirmar expectativas em relação aos benefícios procurados ou para identificar possíveis efeitos colaterais.

Conforme Strack [26], o uso da simulação é vantajoso e deve ser considerado quando uma, ou mais, das seguintes condições existirem:

- quando não há uma formulação matemática completa para o problema;
- quando não há método analítico para a resolução do modelo matemático;
- quando a obtenção de resultados com o modelo é mais fácil de ser realizada por simulação que por método analítico;
- quando não existe habilidade pessoal para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica;
- quando é necessário observar o desenvolvimento do processo desde o início até os resultados finais, e são necessários detalhes específicos;
- quando não é possível ou é muito difícil uma experimentação no sistema real; e
- quando é desejado estudar longos períodos de tempo ou são necessárias alternativas que os modelos físicos dificilmente fornecem.

O problema do desenvolvimento do simulador, neste trabalho, enquadra-se em pelo menos duas dessas condições: não é possível ou é muito difícil uma experimentação no sistema real, pois não existe um acesso ao equipamento e a base de dados de clientes das operadoras; e é desejado estudar longos períodos de tempo, pois, para validar uma aplicação desenvolvida, é necessária a realização de vários testes, cuja duração depende do planejamento específico do projeto.

Ainda segundo Strack, a simulação, como variável resposta é um processo injustificável economicamente. Neste particular, a justificativa do emprego da simulação e os objetivos devem ser explicitamente ressaltados, analisados e discutidos pelos especialistas em simulação e administradores envolvidos. Os objetivos fundamentais da simulação podem ser categorizados em três grupos: projeção absoluta, análise de sensibilidade e investigação de diagnóstico. Segundo Jain [27], a simulação tem a vantagem de permitir o estudo e o experimento de complexas interações internas de um dado sistema, pois:

- o estudo de algumas variações no meio ambiente e a verificação de seus efeitos no sistema total podem ser realizados através da simulação;

- a experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode conduzir a uma melhor compreensão do sistema, com possibilidades de melhorá-lo;
- a simulação pode ser usada para experiências com novas situações, sobre as quais se tem pouca ou mesmo nenhuma informação; e
- a simulação pode servir com um primeiro teste para se delinear novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de experimentar no sistema real.

Porém, o emprego da simulação como alternativa de solução de um determinado problema possui algumas ressalvas, podendo caracterizar-se como desvantagens a seu emprego. Strack [26] ainda enumera nove tipos de problemas que fazem parte de um processo de simulação:

- recursos humanos inexperientes, materiais e equipamentos inadequados;
- mudanças, sob o aspecto da apreciação adequada das necessidades de modificações do modelo, tendo em vista alterações de objetivos antes ou durante a implementação;
- definição dos limites do ambiente ou sistema a ser simulado;
- custos;
- planejamento e determinação das experiências a serem realizadas;
- nível de detalhe, desde alta agregação e simplificação até grande detalhamento total ou parcial;
- grau de precisão requerido para a obtenção dos resultados até grande detalhamento total ou parcial;
- grau de precisão requerido para a obtenção dos resultados que satisfaçam aos objetivos; e
- validação dos modelos de resultados.

Esses problemas podem atingir qualquer processo de simulação, restringindo sua implementação a soluções adequadas às limitações do analista. Tais limitações podem, em algumas situações mais delicadas, como a dos custos associados à simulação, inviabilizar todo o processo e ser determinante para a não realização de um projeto.

3.4. Tipo e Estrutura de Simulação

Existem vários caminhos para classificar modelos de simulação. O caminho mais útil, de acordo com Jain [27], flui ao longo de três dimensões: Estática versus Dinâmica; Contínua versus Discreta; Determinística versus Estocástica.

- Estática versus Dinâmica: o tempo não é levado em conta em modelos estáticos. Em modelos dinâmicos, o tempo é uma variável. Muitos dos modelos operacionais são dinâmicos. A simulação estática é baseada na análise de um instantâneo do sistema, no qual os elementos dinâmicos são representados de forma bastante aproximada. Em uma simulação dessa natureza, o sistema não muda com o tempo. Já em uma simulação dinâmica, as mudanças do sistema estão associadas ao tempo. Ela tem por objetivo utilizar a modelagem visando entender o modo em que comumente esse sistema reage, predizendo características futuras e determinando o que pode ser feito para, interagindo com o sistema real, manipular essas características;
- Contínua versus Discreta: em um modelo contínuo, o estado do sistema pode mudar continuamente com o tempo. Exemplo disso seria o nível de um reservatório com fluxo de água entrando e saindo, e a ocorrência de precipitação e evaporação. Nesse modelo, as mudanças podem ocorrer somente com a separação e pontos no tempo, tal como no sistema de fabricação com peças chegando e saindo em tempos específicos, máquina abaixando e voltando em tempos específicos, e paradas para os trabalhadores.

A simulação discreta é mais utilizada em sistemas onde a mudança de estado se dá de forma descontínua pela ocorrência de eventos que indicam o início e o fim das operações.

Tem como características:

- a modelagem do sistema que é feita em uma rede de fluxo;
- o sistema que contém componentes (recursos) ou elementos, onde cada um executa funções bem definidas;

- os componentes que têm capacidade finita de processar os itens e, uma vez esgotada, estes esperam para o atendimento em filas;
- o início e o fim das operações realizadas pelos componentes que são caracterizados por eventos.

A validação da simulação discreta é difícil de ser realizada. Um dos métodos é a comparação com o sistema em si ou protótipo deste. Uma técnica analítica usada para este fim é a teoria das filas.

Existe a possibilidade de se ter mudanças de elementos contínuos e discretos, ambos no mesmo modelo, os quais são chamados modelos mistos contínuos e discretos. Exemplo disso seria uma refinaria com pressão continuamente variável dentro de seus vasilhames e com a paralisação da empresa discretamente; e

- Determinístico versus Estocástico: em muitos sistemas, o controle de parâmetros, processos e eventos pode ser incerto e/ou insuficientemente entendido. Em uma simulação determinística, esses parâmetros são representados empregando valores simples, que tipicamente são descritos como “melhor situação” ou “piores casos”. Isso significa que modelos determinísticos são aqueles que não possuem entradas aleatórias.

Simulação probabilística, ou estocástica, é o processo de, explicitamente, representar uma incerteza através de entradas específicas, denominadas distribuições de probabilidade. Uma distribuição de probabilidade pode ser entendida como uma representação matemática da probabilidade relativa de uma variável incerta que tem determinados valores específicos.

Se as entradas que descrevem um determinado sistema são incertas, uma predição da performance futura do mesmo também será, necessariamente incerta. Isso significa que o resultado de qualquer análise baseada em parâmetros de entrada representados por distribuições de probabilidade é, em seu conjunto, uma distribuição de probabilidade.

Assim, se o resultado de uma simulação determinística de um sistema qualquer possui uma indicação (que pode ser relacionado a causa e efeito – “se uma estação rádio base for instalada aqui, todos os assinantes residentes serão cobertos”), o resultado de uma simulação estocástica de um sistema é um valor qualificado de probabilidade (“se uma estação rádio base

for instalada aqui, existe 75% de chance de que todos os assinantes residentes serão cobertos”).

Um modelo pode ter entradas determinísticas e estocásticas em diferentes componentes, como para criar um sistema real, no qual os elementos são descritos como determinísticos e aleatórios.

O desenvolvimento do simulador apresentado neste trabalho pode ser enquadrado como uma simulação estática, discreta e determinística. Possui a característica estática, pois seus elementos não fornecem informações que possam determinar sua situação em um momento futuro, apenas as informações são amostradas nos instantes de interesse. Tem natureza discreta, pois esses mesmos elementos sofrem atualização apenas periódica, pelo sistema. Além disso, trata-se de uma simulação determinística, pois nenhum de seus elementos possui uma resposta associada a uma incerteza.

3.4.1. Estrutura de um trabalho de simulação

Segundo Jain [27], basicamente, modelagem e simulação envolvem três tipos de entidades: sistema real, modelo e simulador. Isso é ilustrado na Figura 3-3. Essas entidades não devem ser analisadas isoladamente, devem ser observadas na inter-relação entre elas. Na intercomunicação dessas três entidades, existem dois tipos fundamentais de relacionamentos: modelagem de acordo com as relações entre sistema real e modelos; e, simulação atribuída para a relação entre modelos e computadores.

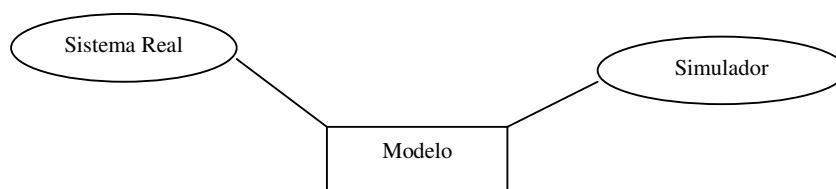


Figura 3-3: Entidades e relações de modelagem e simulação (extraído de [27]).

Para explicar esses dois relacionamentos, pode-se definir “sistema real” como um elemento que servirá como a fonte de origem de dados. “Modelo”, por sua vez, pode ser interpretado como um conjunto de instruções especificamente determinadas para a geração de dados acerca do sistema. Já “simulador”, pode ser definido como um dispositivo capaz de levar a diante instruções do modelo, de modo a obter resultados que devem ser comparáveis àqueles obtidos do sistema real. A modelagem consiste na validade do modelo como uma representação do sistema real. Alternadamente, é necessário avaliar o grau de aceitação dos dados do modelo com os dados do sistema real. Esse processo de apuração e confronto dos dados dessas duas entidades (“sistema real” e “simulador”) é chamado de validação. Somente após a comparação dos dados obtidos pelo simulador com os dados do mundo real, isto é, após a validação, pode ser estabelecida a precisão do simulador e avaliada a coerência das instruções do modelo empregado para interpretar o funcionamento do sistema.

Assim, um trabalho de simulação inicia com a análise do sistema de interesse, passa pela determinação de um modelo que atenda as necessidades do analista, referente a esse sistema, e finaliza com a construção de uma ferramenta que utilize as instruções do modelo para retratar o sistema real.

3.5. Modelos de simulação

O emprego da simulação, nos dias atuais, praticamente atinge todas as atividades empregadas pelo homem. É uma área de estudo bastante vasta e que aborda muitos conceitos. No que diz respeito à simulação matemática e computacional, existem alguns tópicos que merecem ser mencionados, pois seu emprego é freqüente e possuem uma grande importância na área em que são empregados. Nesta sessão, é apresentado um pequeno resumo da teoria de alguns modelos que, em algum momento, foram explorados no desenvolvimento do simulador e tem o objetivo de proporcionar ao leitor uma visão macro de cada tópico. Após explorar cada um dos modelos, é apresentado qual foi empregado no simulador e/ou como o mesmo foi utilizado no desenvolvimento.

3.5.1. Modelos de Tráfego

Não se pode trabalhar na área de telefonia sem conhecer a teoria de modelos de tráfego [28]. Eles são empregados para simulações voltadas à análise de redes de comunicações. Tratam-se de modelos que compõem parte das atividades de engenharia de redes de telecomunicações.

Uma rede telefônica, por exemplo, não pode ser calculada exatamente como um circuito eletrônico, pois as características dos assinantes (que somente podem ser examinadas com dificuldade pelos engenheiros) determinam a demanda na rede. Por esta razão, procedimentos estatísticos apropriados devem ser definidos, no intuito de registrar a rede aritmeticamente. Além disso, para os sistemas de telecomunicações, a rede telefônica não transporta apenas voz. O emprego de mais recursos nas redes mais modernas leva em conta, também, a transmissão de dados e multimídia. Isso resulta em um ambiente diverso, que muitas vezes deve ser modelado.

Do ponto de vista dos engenheiros de projeto de redes de telecomunicações, os sistemas não devem ser dimensionados para operar atendendo a 100% do tráfego. Isso acarretaria em projetos financeiramente inviáveis e que se apresentariam com seus recursos ociosos, na maioria do tempo. Devido a isso, surgiram os conceitos de “sistemas de perda” e “sistemas de espera”. Esses sistemas têm, em sua concepção, a característica de estarem otimizados para atender a demanda do tráfego da rede, baseando-se em uma qualidade de serviço bem definida. Para proteção, evitando uma sobrecarga no mesmo, esses sistemas possuem modos de operação bem definidos: carga normal e carga alta. Em carga normal, o sistema consegue manipular todo o tráfego da rede. Já em carga alta, o tráfego apresenta-se intenso e os elementos da rede (os chamados “nós”) não conseguem atender a essa demanda. Assim, quando os troncos da rede estão congestionados, para um tráfego que possua características de tempo real (como o tráfego de voz), a chamada é perdida. Já para o tráfego de dados, podem existir elementos que funcionam como *buffers* e ordenam o tráfego entrante em uma fila de espera, obedecendo ao princípio FIFO (*First In – First Out*; o primeiro que entra é o primeiro que sai). Isso é mostrado na Figura 3-4, que ilustra uma rede de acesso, de onde provém as chamadas à central

telefônica. Caso exista um número de chamadas superior à capacidade de atendimento dos troncos da central telefônica, haverá a ocupação completa dos troncos e as chamadas excedentes são encaminhadas para o *buffer*. Se, depois de um tempo pré-determinado, a chamada não for atendida pelos recursos da rede, a mesma será descartada e perdida. Essa fila possui um tamanho fixo e, caso aconteça de serem ocupadas todas as posições, as novas chamadas serão automaticamente descartadas pelo sistema, até que um valor percentual de atendimento da fila, definido pela qualidade de serviço desejada, seja atingido.

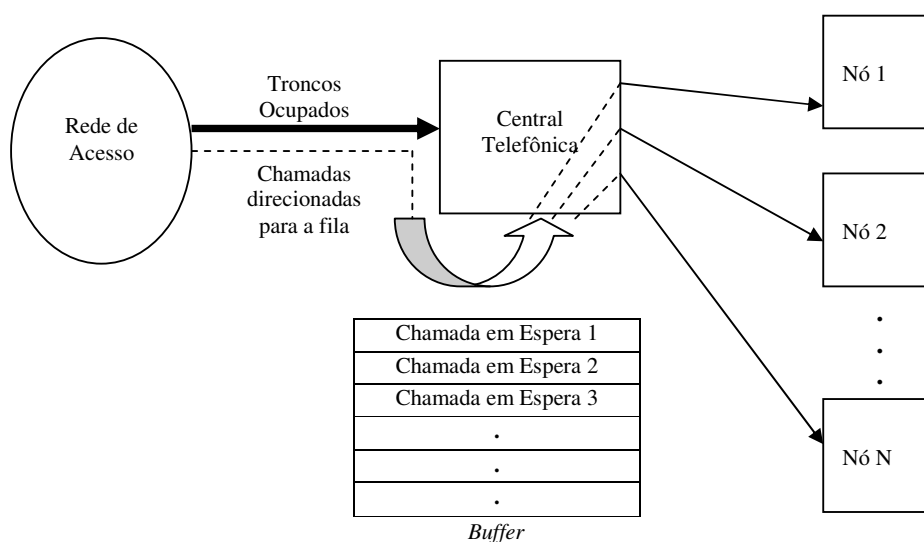


Figura 3-4: Configuração de Modelo de Espera

O modelo de cálculo da taxa de bloqueio (B) de chamadas em uma rede de voz para um sistema de perda, admitindo-se um número infinito de fontes de tráfego, é obtido através da fórmula de Erlang-B. Para ela, existem: uma fórmula original (obtida matematicamente a partir do modelo); e uma fórmula de recorrência. Para esse modelo, segundo a fórmula original (Fórmula 3.1) e a fórmula de recorrência (Fórmula 3.2) e considerando A o tráfego oferecido pelo sistema e N o número de linhas de comunicação, a taxa de bloqueio é dada por:

$$B = f(A, N):$$

$$B = \frac{A^N}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (\text{Fórmula 3.1})$$

$$B_{N+1} = \frac{A * B_N}{(1 + N) + (A * B_N)} \quad (\text{Fórmula 3.2})$$

Existe ainda uma alternativa para o cálculo da taxa de bloqueio (B) de chamadas em uma rede de voz para um sistema de perda, dessa vez, admitindo-se um número finito de fontes de tráfego. Nesse caso, o modelo que melhor descreve o sistema é obtido através da fórmula de Engset (Fórmula 3.3). Para esse modelo, considerando A o tráfego oferecido pelo sistema, N o número de linhas de comunicação e m o número de fontes de tráfego, a taxa de bloqueio é dada por:

$$B = \frac{\binom{m}{N} * A^N}{\sum_{i=0}^N \binom{m}{i} * A^i} \quad (\text{Fórmula 3.3})$$

Sistemas de fila são geralmente especificados em notação Kendall. Nessa notação, um termo X/Y/z-K denota uma fila com as seguintes características:

- X – distribuição de probabilidade da chegada de clientes (dados). Pode possuir as seguintes opções: M – exponencial (Markoviano); D – Determinístico; e G – Geral. O processo de Poisson, geralmente empregado para modelar taxas de chegadas de dados, é um caso especial de um processo de Markov;
- Y – distribuição de probabilidade do tempo de serviço. Geralmente o tempo de serviço de um dado é diretamente proporcional ao tamanho do mesmo. Possui as seguintes alternativas: M – exponencial (Markoviano); D – Determinístico; e G – Geral;
- z – número de servidores para atender os arquivos, isto é, o número de canais de saída;
- K – disciplina da fila. Indica se há prioridades ou distribuição de atendimento dos dados que estão chegando na fila. Como exemplos mais comuns dessa disciplina, foram definidos o PS (*processor sharing* – todos os arquivos na fila são processados ao mesmo tempo, independente

de tamanho ou prioridade) e o FCFS (*first come, first serve* – os arquivos são atendidos em ordem de chegada). Se esse parâmetro é omitido, admite-se que a fila obedece à disciplina FCFS.

Em muitas aplicações em telecomunicações, as conexões não podem ser conseguidas instantaneamente, mas somente depois de um atraso. Nesses sistemas, conhecidos como sistema de espera, dados a taxa de bloqueio do sistema (B), o tráfego oferecido (A) e o número de linhas disponíveis (N), além do tempo médio de espera na fila, pode-se obter duas informações. A primeira é a probabilidade de espera [$p(>0)$] (Fórmula 3.4) e a segunda é a probabilidade de uma chamada ser descartada depois que a mesma entrar na fila (*timeout*) [$p(>t)$] (Fórmula 3.5). Ambas são calculadas, respectivamente, a partir das fórmulas:

$$p(>0) = B * \frac{N}{N - A * (1 - B)} \quad (\text{Fórmula 3.4})$$

$$p(>t) = p(>0) * e^{-\frac{t}{t_w}} \quad (\text{Fórmula 3.5})$$

Ainda existe o modelo de Erlang-C (Fórmula 3.6), que é empregado para o tráfego de redes de pacotes. Com ele, conhecendo-se a densidade de tráfego (a relação entre as chamadas que chegam e as que são atendidas em um determinado intervalo de tempo – A) e o número de agentes disponíveis (servidores – N), é possível saber qual a probabilidade de um cliente (pacote) ter que esperar na fila (ou a probabilidade de todas as linhas disponíveis estarem ocupadas quando um pacote novo chegar). Essa relação é dada por:

$$C(A, N) = \frac{N! * (1 - \frac{A}{N})}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!} + N! * (1 - \frac{A}{N})} \quad (\text{Fórmula 3.6})$$

Durante o desenvolvimento do simulador, houve uma preocupação com sua capacidade de atendimento aos clientes externos, pois o mesmo deveria trabalhar como servidor, em uma arquitetura cliente-servidor. Num primeiro momento, foi tomada a decisão de desenvolver o simulador para operar com apenas um cliente, para simplificar o desenvolvimento da versão inicial. As versões posteriores da ferramenta devem incorporar a capacidade de atendimento a mais de um cliente

simultaneamente, de modo que o estudo do modelo de tráfego a ser empregado tem grande relevância nesse tópico.

3.5.2. Modelos de Mobilidade

Os Modelos de Mobilidade buscam representar o comportamento de movimentação de partículas móveis em um determinado ambiente. Esses modelos podem ser empregados na avaliação do desempenho de aplicações e sistemas de comunicação, permitindo analisar o impacto causado pela mobilidade no funcionamento dos mesmos. Tem-se como exemplo de ambientes onde se aplicam os modelos de mobilidade: aplicações de gerenciamento de distribuição de chave criptográfica; suporte à descoberta de serviços; suporte ao gerenciamento do tráfego suportado pela rede; avaliação da perda de pacotes; avaliação dos protocolos de roteamento; predição do particionamento das redes; cobertura de serviços; e em protocolos de acesso ao meio. Esses modelos são classificados em dois tipos: modelos de mobilidade individual e modelos de mobilidade em grupo [29].

No desenvolvimento do simulador, alguns elementos serão empregados para simular do deslocamento de estações móveis. Cada um desses elementos irá se movimentar individualmente, sem interagir diretamente com os demais. Dessa maneira, os tipos de modelos que são levados em conta, no projeto, são os modelos de mobilidade individual.

Tratam-se de modelos que representam o comportamento de movimentação de uma partícula de forma independente do restante das partículas da rede. Consistem em modelagem mais simples e de fácil implementação. Os Modelos de Mobilidade Individual têm importante aplicação na predição da disponibilidade dos enlaces sem fio, a fim de melhorar, por exemplo, a eficiência dos algoritmos de roteamento e construção de rotas mais estáveis, pois uma das principais causas de mudanças na disponibilidade dos enlaces sem fio são as mudanças locais na topologia da rede. Dentre os modelos

existentes, podem ser destacados: (i.) o modelo de mobilidade aleatória; (ii.) o modelo Waypoint; e (iii.) o modelo Markoviano.

i. Modelo de Mobilidade Aleatória - *Random Walk*;

Random walk descreve um algoritmo que usa números criados aleatoriamente para calcular o deslocamento de uma partícula em uma rede simétrica. Uma rede simétrica é uma base de referência por onde as partículas se movimentarão. Um exemplo de rede simétrica poderia ser uma grade com barras na horizontal e vertical que se cruzam e cada ponto de cruzamento seria uma posição válida para a partícula.

O algoritmo *random walk* se inicia com a escolha de um ponto no *grid* da rede simétrica previamente definida. Para a partícula se mover desse ponto, é efetuada a escolha de um número aleatoriamente, que determinará a próxima posição. Normalmente, o movimento possui duas restrições:

- deve-se seguir a linha do *grid* até a próxima posição;
- deve-se possuir a mesma probabilidade de escolha para cada posição possível para movimentação.

O passo posterior é idêntico a esse, com a única ressalva que a posição inicial já se encontra previamente estabelecida: é a partir da posição final do passo anterior. Isso caracteriza um algoritmo cíclico, isto é, um algoritmo que se repete até que uma determinada condição aconteça. Esse movimento se repete e a seqüência de movimentos só termina quando o ponto chega no final da rede simétrica.

Em um primeiro momento esse método pode levar a imaginar que, para N partículas partindo de um mesmo ponto e com as mesmas probabilidades de movimentação, existirá uma concentração dessas partículas nas proximidades do ponto de partida. Na prática isso não ocorre e as partículas tendem a se afastar umas das outras.

Uma descrição passo a passo de um *random walk* poderia ser feita segundo o algoritmo a seguir:

- *Passo 1:* definir uma rede simétrica. Isto é, delimitar uma área de interesse na qual as partículas devem se movimentar;
- *Passo 2:* escolher uma posição inicial para a partícula de interesse. Caso se esteja trabalhando com a movimentação de mais de uma partícula, independentes entre si, é nesse instante que suas respectivas posições iniciais também são definidas. Não necessita que essa posição inicial seja a mesma para todas as partículas;
- *Passo 3:* sortear, aleatoriamente, um número que indicará a direção e o sentido do movimento. Assim, pode-se definir o grau de liberdade do movimento, indicando em que direção a partícula poderá se dirigir, atentando para sempre seguir a linha do *grid*;
- *Passo 4:* posicionar a partícula no local adjacente à sua posição atual, indicado pelo número sorteado. Dessa maneira, é finalizado o primeiro ciclo de movimento da partícula;
- *Passo 5:* repetir os mesmos passos até que a partícula encontre o final da rede simétrica.

O modelo de mobilidade aleatória permite que sejam empregadas algumas variações do seu algoritmo, das quais três são as principais: *random walk* simples; *random walk* sem reversão; e *random walk* sem colisão.

Random walk simples: essa movimentação é a única que não possui nenhuma restrição adicional para os movimentos. A partícula pode se mover pelo *grid* obedecendo apenas as duas restrições básicas. Nesse caso, para prever o próximo movimento só nos interessa a posição atual e não as posições anteriores da partícula, ou seja, é um modelo de mobilidade sem memória. Por isso, esse modelo pode gerar um comportamento não realístico, por exemplo, com mudanças bruscas de direção, paradas abruptas e acelerações bruscas no movimento da partícula;

Random walk sem reversão: para tentar obter um comportamento mais realístico com esse modelo, podem ser adicionadas algumas melhorias em sua implementação. Uma delas é a *Random Walk* sem reversão. A diferença desse movimento para o simples é que a partícula não pode voltar para a posição de que partiu no movimento anterior. Assim, é necessária uma memória da posição anterior;

Random walk sem colisão: outra melhora que pode ser utilizada é implementar o método restringindo a partícula a transitar apenas por pontos que ainda não foram percorridos por ela. Nesse tipo de movimentação a partícula “morre” quando cruza por um caminho em que já passou anteriormente. Assim, não apenas a posição anterior é memorizada como também todas demais posições percorridas pela partícula.

ii. Modelo de Waypoint;

O Modelo de Mobilidade Waypoint divide o percurso de uma partícula em períodos de movimentação e pausa. Essa partícula fica num local por um determinado intervalo de tempo e depois move-se para um novo local escolhido aleatoriamente com uma velocidade que segue uma distribuição uniforme entre dois valores (máximo e mínimo) predefinidos. A Figura 3-5 apresenta um exemplo desse deslocamento. Nela, a natureza aleatória do movimento apresenta-se na grade determinada e na velocidade de transição de um ponto a outro. O fator “tempo” não pode ser representado na figura, porém sua implementação não pode ser esquecida pelo analista.

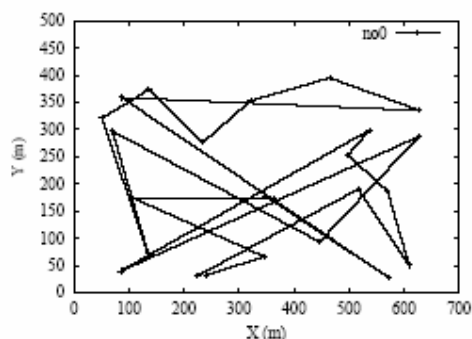
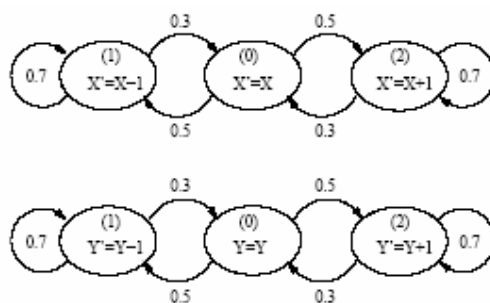


Figura 3-5: Percurso de uma partícula utilizando Waypoint (extraído de [29])

Esse modelo também é sem memória, com isso ele possui as desvantagens descritas anteriormente, isto é, uma partícula pode percorrer mais de uma vez uma determinada posição no grid, tornando-se pouco realista para algumas aplicações. Apesar disso, ele também é um modelo de mobilidade muito usado pelos pesquisadores devido a sua simplicidade de implementação. Através da configuração do intervalo do tempo de pausa em zero, esse modelo se comporta de forma semelhante ao modelo de mobilidade aleatória.

iii. Modelo Markoviano de Percurso Aleatório

No Modelo Markoviano de Percurso Aleatório [29], o movimento é modelado através de uma Cadeia de Markov e, portanto, ele é um modelo de mobilidade com memória. Esse modelo possui três estados para representar as coordenadas x e y . O estado zero (0) representa a posição atual da partícula em x e y , o estado um (1) representa a posição anterior da partícula em x e y , e o estado dois (2) representa a próxima posição da partícula, também em x e y , conforme mostrado na Figura 3-6.



X' : próxima coordenada de X X : atual coordenada de X

Y' : próxima coordenada de Y Y : atual coordenada de Y

Figura 3-6: Modelo de Mobilidade MPA (extraído de [29])

O modelo utiliza a seguinte matriz de probabilidade de transição para determinar a posição de uma partícula específica no próximo instante de tempo:

$$P = \begin{bmatrix} P(0,0) & P(0,1) & P(0,2) \\ P(1,0) & P(1,1) & P(1,2) \\ P(2,0) & P(2,1) & P(2,2) \end{bmatrix}$$

Nessa matriz, cada elemento $P(a,b)$ representa a probabilidade de mudança do estado a para o estado b . No diagrama de estados da Figura 3-6 são usados os seguintes valores:

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0,7 \end{bmatrix}$$

Nesse modelo as partículas têm a possibilidade de movimentação somente nas diagonais, pois a probabilidade de transição de $P(0,0)=0$. Com isso, não é possível movimentar-se para as direções vertical e horizontal ou ficar parado numa posição qualquer. Além disso, a probabilidade do

movimento continuar na mesma direção é maior que a de mudar de direção, fazendo com que a partícula, uma vez em movimento, tenda a permanecer na mesma direção. Outra característica desse modelo é que ele não permite mudanças bruscas de sentido no movimento, pois para a partícula mudar o sentido do movimento é necessário parar o movimento para depois mudar de sentido. Essas características mostram que esse modelo é mais realístico que os modelos de Percurso Aleatório e Waypoint.

Dos três modelos de mobilidade estudados, no desenvolvimento do simulador, foi implementada uma variação do modelo de mobilidade aleatória. Tal variação será explicada em detalhes no capítulo 5, o qual relata o projeto do simulador e apresenta a proposta de arquitetura que foi desenvolvida. Esses modelos de mobilidade foram implementados de modo a realizar o relacionamento entre as entidades “sistema real” e “modelo” (Figura 3-3)

Além dos modelos de simulação que foram empregados no desenvolvimento do projeto, outra ferramenta utilizada no trabalho foi a linguagem de modelagem unificada. Essa linguagem foi empregada nos estágios iniciais de codificação, para atender ao relacionamento entre o “modelo” e o “simulador” (Figura 3-3), e encontra-se apresentada na sessão a seguir.

3.6. Linguagem de Modelagem Unificada

Na engenharia de software, Linguagem de Modelagem Unificada (ou *Unified Modeling Language* – UML) é uma linguagem de terceira geração de modelagem e especificação não proprietária. Entretanto, o uso da UML não está limitado a apenas modelagem de software. Ela pode ser empregada para a modelagem de hardware (engenharia de sistemas), além de ser comumente utilizada na modelagem de processos de negócios. Trata-se de uma linguagem de modelagem visual para especificar, visualizar, construir e documentar os artefatos de um sistema de software. Basicamente, a UML permite que desenvolvedores visualizem os produtos de seu trabalho em

diagramas padronizados. Junto com uma notação gráfica, a UML também especifica significado, isto é, semântica. É uma notação independente de processos, embora seja do conhecimento geral que uma das principais ferramentas de gerenciamento de processos, o RUP (*Rational Unified Process*) [30], tenha sido especificamente desenvolvido utilizando a UML.

É importante distinguir entre um modelo UML e um diagrama (ou conjunto de diagramas) de UML – o último é uma representação gráfica da informação do primeiro, mas o primeiro pode existir independentemente. O modelo também contém um “escopo semântico”: uma documentação textual que amplia a informação contida nos elementos e diagramas do modelo.

A UML teve origem na compilação das "melhores práticas de engenharia" que provaram ter sucesso na modelagem de sistemas grandes e complexos. Sucedeu aos conceitos de Booch [31], OMT [31] (Rumbaugh) e OOSE [31] (Jacobson) fundindo-os numa única linguagem de modelagem comum e largamente utilizada. A UML pretende ser a linguagem de modelagem padrão para modelar sistemas concorrentes e distribuídos. Esse foi um dos atrativos para a utilização da UML nos estágios iniciais do desenvolvimento do simulador.

Para tornar a linguagem um padrão da indústria, essa tarefa foi designada para o *Object Management Group* (OMG) [32], consórcio responsável por produzir e manter especificações da indústria computacional para aplicações interoperáveis. Como passo inicial, o OMG solicitou, a seus membros e a comunidade de software, informações acerca de metodologias orientadas a objetos que pudessem criar uma linguagem rigorosa de modelagem de software.

Atualmente, a UML é principalmente utilizada para configurar, descrever, navegar, manter e controlar informações relevantes ao desenvolvimento de sistemas de software. Segundo Booch [31], entre os principais objetivos da UML, temos:

- fornecer aos usuários uma linguagem de modelagem visual expressiva, para desenvolver e trocar modelos entre si;
- suportar especificações que são independentes de uma linguagem de programação e processo de desenvolvimento particular;
- suportar conceitos de desenvolvimento de alto nível, como componentes, colaborações e frameworks;

- auxiliar o crescimento de ferramentas de desenvolvimento orientadas a objetos no mercado;

Ainda segundo Booch, um sistema será modelado como um conjunto de objetos que interagem entre si para realizar alguma função ou fornecer algum serviço, segundo o paradigma da orientação a objetos. A UML captura informações sobre a estrutura e o comportamento estático e dinâmico de um sistema. A estrutura estática define quais os objetos são importantes para um sistema e como será sua implementação. A estrutura dinâmica descreve o comportamento destes objetos ao longo do tempo e como se processa a comunicação entre eles. As informações dos modelos são representadas através de diagramas. Ao todo são nove diagramas que representam os diversos aspectos de um sistema.

3.6.1. Diagramas da UML

A UML possui vários diagramas que representam os diversos aspectos de um sistema. São eles: diagramas de casos de uso; diagrama de classes; diagrama de atividades; e diagrama de seqüência. Dois desses diagramas foram diretamente empregados no desenvolvimento do simulador: o diagrama de casos de uso e o diagrama de classes.

- Diagrama de casos de uso: mostra as interações entre casos de uso (*use cases*) do sistema e os atores. Os casos de uso representam a funcionalidade do sistema. Os atores representam pessoas ou outros sistemas que interagem com o sistema que está sendo desenvolvido. Fazem parte do diagrama de casos de uso: atores, casos de usos, interfaces e as relações entre estes elementos. A Figura 3-7 ilustra o diagrama de caso de uso que foi elaborado durante os estágios iniciais do desenvolvimento do simulador. Nessa figura, três elementos externos (atores) podem interagir diretamente com o sistema, a partir de tarefas (Casos de Uso) que representam sua funcionalidade: analista (representado por *WebUser* e *WapUser*); aplicação remota (*MsgSender*); e base de dados (*DataBase*). Exemplificando, o analista é capaz de

executar duas tarefas: configuração de dispositivos (*ConfigDevices*) e configuração de identificadores (*ConfigLocationLabels*). A tarefa de configuração de dispositivos, por sua vez, é subdividida em tarefas menores (sub-tarefas), que representam os parâmetros que podem ser configurados no sistema. Todas as informações de configuração são armazenadas diretamente na base de dados (*DataBase*).

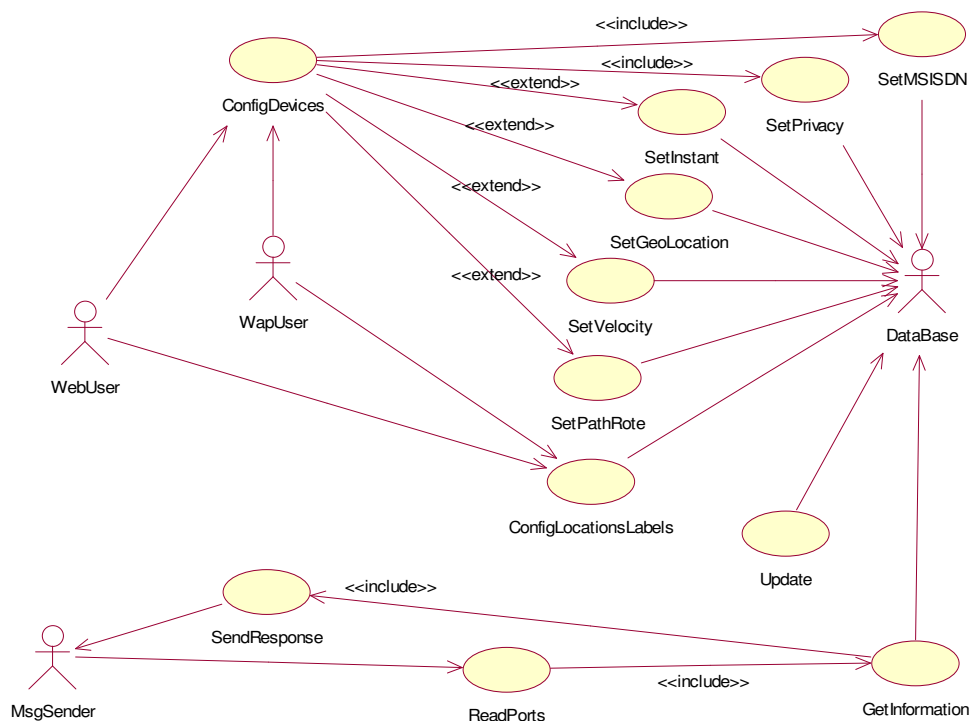


Figura 3-7: Diagrama de Casos de Uso do Simulador

- Diagrama de classes: mostra uma visão da estrutura estática do modelo. Os elementos do modelo podem ser classes, interfaces, pacotes. Cada uma das classes pode possuir dois grupos de elementos: atributos e métodos. Um atributo representa uma qualidade não funcional da classe, enquanto que um método representa uma função que pode ser realizada por um elemento pertencente àquela classe. O diagrama de classes apresenta uma ilustração resumida do sistema onde são mostrados a estrutura interna dos elementos componentes e os relacionamentos entre eles, representados por *links* que conectam os elementos. Os elementos do diagrama podem ser agrupados em pacotes. A Figura 3-8 apresenta uma amostra do

diagrama de classes que foi obtido no desenvolvimento do simulador. A classe *database*, por exemplo, possui um único atributo (*conn*). Esse atributo é do tipo *Connection*, definido no projeto como um tipo que possui parâmetros e funções de conexão com uma base de dados. Os métodos realizáveis por um elemento da classe *Database* são: criar uma base de dados (*CreateDB*); abrir uma conexão com a base de dados (*Open*); executar um comando SQL (*ExecuteSQL*); e executar uma busca na base de dados (*ExecuteQuery*).

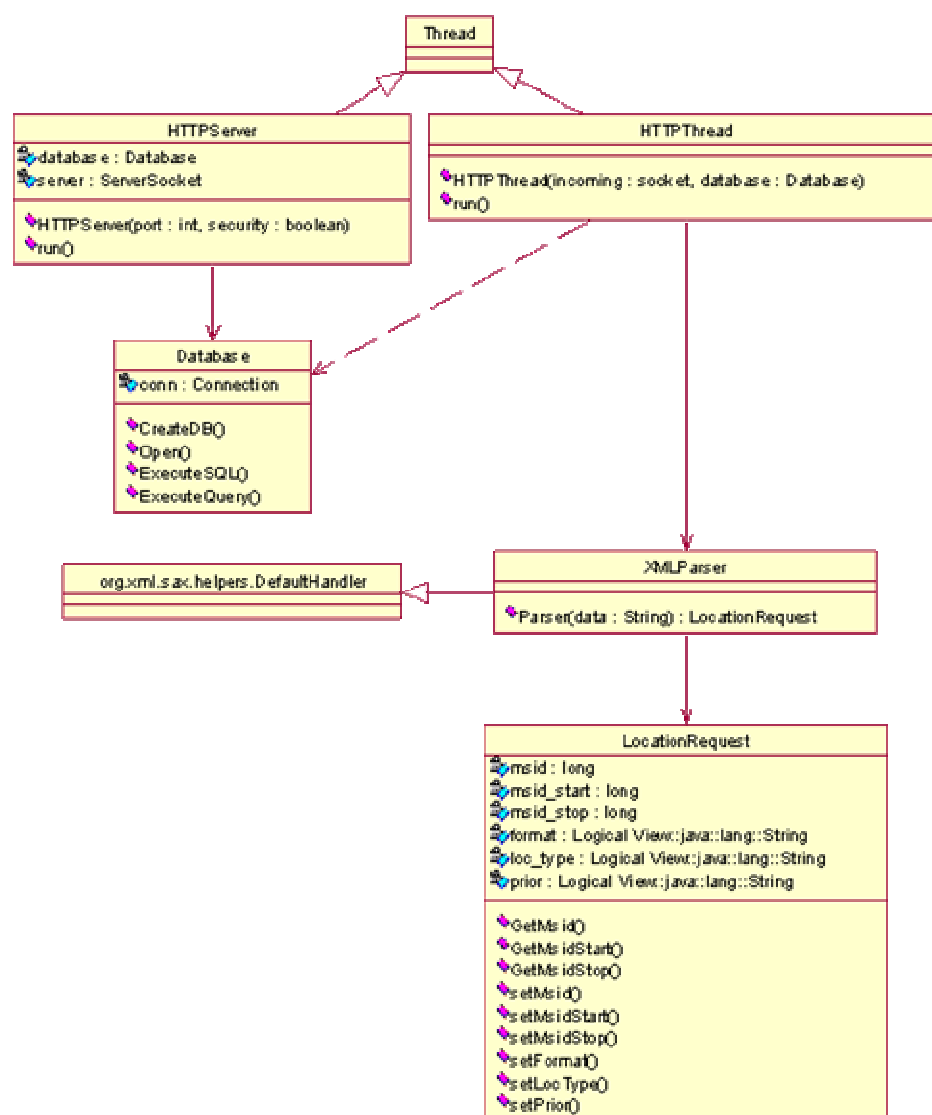


Figura 3-8: Diagrama de Classes parcial do Simulador

- Diagrama de estado: representa uma máquina de estados. Fornecem um meio para descrever o comportamento das instâncias de um elemento do modelo (um objeto, por exemplo). O diagrama de estado descreve as possíveis seqüências de estados e ações das instâncias dos elementos do modelo, durante os seus ciclos de vida. Enquanto o diagrama de classes descreve a estrutura estática do sistema, o diagrama de estado é utilizado para modelar o comportamento dinâmico do sistema. A Figura 3-9 ilustra um exemplo de um diagrama de estados simples.

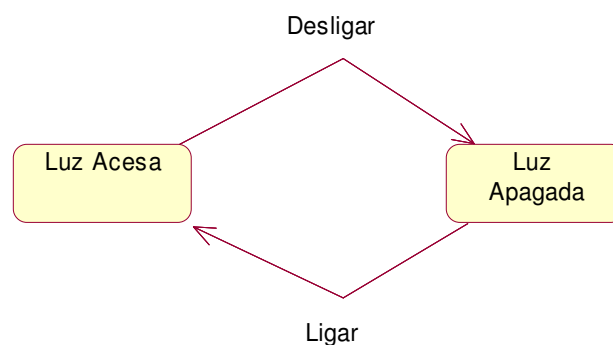


Figura 3-9: Diagrama de Estados

- Diagrama de atividades: é uma variação de uma máquina de estados, no qual os estados representam a realização de alguma ação e as transições entre os estados são acionadas pelo termino das ações no estado anterior. O diagrama de atividades é um caso especial do diagrama de estado. O propósito deste diagrama é mostrar o fluxo da funcionalidade do sistema que está sendo desenvolvido. A Figura 3-10 apresenta um exemplo de um diagrama de atividades.
- Diagrama de seqüência: mostra um conjunto de mensagens, dispostas em uma seqüência temporal, que são trocadas entre objetos. Um dos seus usos é mostrar o comportamento seqüencial de um caso de uso. O diagrama de seqüência enfatiza a organização temporal das mensagens trocadas. Figura 3-11 apresenta um exemplo de diagrama de seqüência.

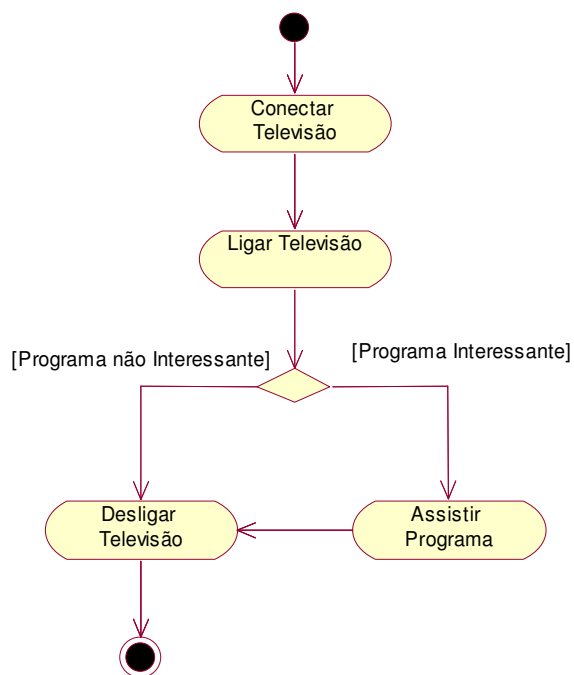


Figura 3-10: Diagrama de Atividades

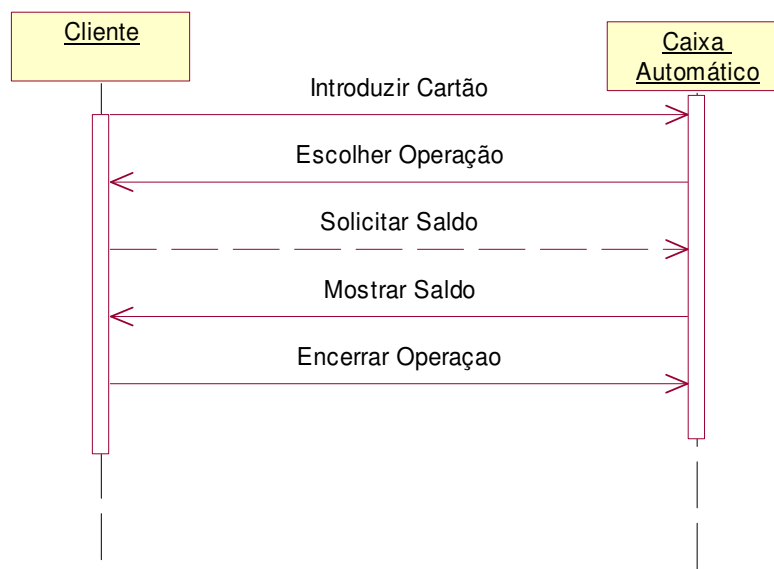


Figura 3-11: Diagrama de Seqüência

Esses diagramas são os que mais são empregados em modelagem UML. Além deles, alguns outros diagramas trabalham outros aspectos do sistemas e funcionam como complemento dos diagramas anteriores. De acordo com a especificação da UML, são eles:

- Diagrama de colaboração: mostra a mesma informação que o diagrama de seqüência, porém de uma maneira nova e com um propósito diferente. O diagrama de colaboração mostra os objetos e atores interagindo sem referência ao tempo. Seu propósito é enfatizar a organização estrutural dos objetos que recebem e enviam mensagens;
- Diagrama de objetos: é um gráfico de instâncias dos elementos do modelo, incluindo objetos e valores dos dados. Um diagrama de objeto é uma instância de um diagrama de classes. Mostra uma fotografia detalhada do estado de um sistema em um determinado instante de tempo.
- Diagrama de componentes: mostra as dependências entre os componentes de software. Componentes são unidades físicas de implementação com interfaces bem definidas. Os componentes são partes do sistema que podem ser substituídas sem afetar as demais partes.
- Diagrama de implantação: descreve como o sistema sendo desenvolvido será implantando fisicamente. Descreve todo os nós da rede, as conexões entre eles e os processos que irão executar em cada nó. O diagrama de implantação inclui o layout da rede e onde os componentes deverão estar localizados dentro da rede. Além disso, pode incluir restrições da rede no qual o sistema irá funcionar, como largura de banda disponível e quanto usuário poderão utilizar o sistema simultaneamente.

Informações mais detalhadas sobre UML podem ser obtidas em [33].

Dessa maneira, uma breve explanação sobre simulação foi realizada, de modo a se determinar o que é um processo de simulação, onde e como ele pode ser aplicado e quais suas vantagens e desvantagens. Além disso, o estudo de alguns modelos proporcionou a escolha da base matemática necessária para a concepção da ferramenta de simulação. Porém, ainda falta entender alguns aspectos importantes, referentes aos sistemas de localização: as tecnologias de posicionamento. Esse é o tema do próximo capítulo.

4. TECNOLOGIAS DE POSICIONAMENTO

Com a utilização das plataformas de localização, não apenas o serviço de localização do usuário é possível, mas, também, outros serviços, tais como: rastreamento; entretenimento; negócios; serviços de navegação; e segurança.

O termo “serviços baseados em localização” (*Location-Based Services – LBS*) se refere a uma larga faixa de aplicações que requerem a informação de uma posição para obter o resultado desejado. Essa informação pode ser disponibilizada em vários formatos, como: nome da cidade; código postal; endereço; e/ou coordenadas latitude e longitude. O fornecimento desses dados, para a aplicação, pode ser manualmente ou através de alguma forma automatizada.

Um complexo e interconectado conjunto de tecnologias provê a base para o funcionamento dos serviços de localização. São as tecnologias de rede para comunicações móveis (como GSM, GPRS ou UMTS) ou tecnologias direcionadas ao relacionamento entre redes móveis e conteúdos dinâmicos (como protocolo WAP – *Wireless Application Protocol* – para acesso à Internet móvel) [34]. Entretanto, essas tecnologias não possibilitam diretamente a provisão de informação de posição. Para atender a essa necessidade específica, um novo tipo de tecnologia emergiu, possibilitando o projeto de aplicações com capacidade de identificar a localização de um usuário e adaptar as configurações, interfaces e funcionalidades de seu dispositivo de acordo com essa informação. Essa nova tecnologia é conhecida como Tecnologia de Posicionamento (*Positioning Technology*) [35].

A forma como a informação da posição é obtida pode diferenciar bastante em ambientes internos e externos. No caso de LBS móvel, um dispositivo sem-fio (*wireless*), tipicamente um dispositivo portátil (*handset*), trabalha sozinho ou em conjunto com algum equipamento em sua rede para determinar a sua localização. Várias tecnologias de posicionamento podem ser empregadas, isoladamente ou em conjunto, para determinar essa localização do dispositivo móvel, de maneira a aumentar a demanda de precisão e a rapidez da resposta dos serviços de LBS, para fornecer, por exemplo, fatores determinantes para serviços de emergência e segurança [35].

Este capítulo está interessado em apresentar algumas tecnologias que dão suporte aos serviços baseados em localização. Essas tecnologias não foram diretamente aplicadas no desenvolvimento do simulador, porém seu entendimento é importante para conhecer o funcionamento dos sistemas de localização. É necessário entender quais tecnologias podem ser empregadas nas diversas plataformas de localização existentes, pois essas tecnologias compõem o núcleo dos serviços de localização. Além disso, o estudo das tecnologias de posicionamento possibilita conhecer os ambientes em que elas podem ser empregadas, os métodos existentes e os indicadores de performance que são importantes para um projeto nesta área.

O simulador desenvolvido está relacionado a uma plataforma que opera em uma rede GSM (*Global System for Mobile Communications*). Assim, uma maior ênfase será empregada na descrição daquelas tecnologias que são mencionadas na especificação desse sistema.

4.1. Classificação das Tecnologias Existentes

Os serviços de localização de dispositivos incorporam algumas tecnologias, de pesquisa e comerciais, que são empregadas para prover os chamados “serviços de noção de posição” (*location-aware*), cada uma com suas vantagens e desvantagens. Tais tecnologias podem ser divididas em: baseadas em rede; e baseadas em dispositivos.

4.1.1. Tecnologias Baseadas em Rede

As tecnologias baseadas em rede (*Network-Based*) dependem da habilidade de um dispositivo móvel em receber um sinal de uma rede móvel que cobre a área na qual o mesmo se encontra. Dessa

maneira, tratam-se das técnicas baseadas na rede de telefonia celular, e não no dispositivo (*handset*), permitindo o uso dos atuais aparelhos móveis.

Essa categoria beneficia os assinantes e garante imediata penetração dos serviços, pois existe um equipamento de localização disponibilizado pela operadora para realizar todo o processamento matemático.

Dentre as tecnologias mais populares desta categoria, podem ser destacadas [36]: *Cell-Identification* (Cell-ID) e *Enhanced Cell-ID* (E-CID); *Time of Arrival* (TOA); *Observed Time Difference* (OTD) e *Enhanced Observed Time Difference* (E-OTD); *Time Difference of Arrival* (TDOA); *Uplink Time Difference of Arrival* (U-TDOA); e *Observed Time Difference of Arrival* (OTDOA).

4.1.2. Tecnologias Baseadas em Dispositivos

As tecnologias baseadas em dispositivos (*Handset-Based*), também conhecidas como independente das redes, podem prover a informação da identificação de localização sem a necessidade de atuação da rede da operadora. São as técnicas que não funcionam com os aparelhos móveis comuns, pois esses últimos não são capazes de aferir sua posição através do sinal recebido dos elementos da rede. Apenas alguns aparelhos mais recentes e mais caros permitem essa funcionalidade.

A principal solução nesta categoria é o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System – GPS*). GPS é um sistema de navegação de rádio, baseado em satélite, de alcance mundial, consistindo de 24 satélites, igualmente espaçados em seis planos orbitais à 20.200 quilômetros da terra, que transmitem dois sinais de portadora especialmente codificados, um para fins civis e outro para fins militares e uso governamental. Esse sistema de satélite transmite mensagens de navegação que um receptor GPS utiliza para determinar sua posição. O receptor GPS processa o sinal para computar a localização em três dimensões: latitude, longitude e altitude. Essa tecnologia proporciona

uma precisão de 10 metros ou menos. Para operar apropriadamente, o receptor GPS necessita de uma visão clara do céu e dos sinais de pelo menos quatro satélites, requisitos que excluem a sua aplicação para ambientes internos (*indoor*) [36].

Tanto as tecnologias baseadas em rede, quanto às baseadas em dispositivo, têm seu funcionamento intimamente relacionado com o ambiente de aplicação no qual estejam sendo empregadas.

4.2. Ambientes de aplicação existentes

Atualmente, uma vasta gama de tecnologias de posicionamento foi desenvolvida para dar suporte à localização de dispositivos. Independentemente de se tratar de *Network-Based* ou *Handset-Based*, cada uma delas possui suas peculiaridades e seu emprego deve levar em conta as características dos vários ambientes existentes. Na prática, esses ambientes podem ser: internos e externos. Os ambientes externos são classificados como urbanos, suburbanos e rurais.

Os ambientes internos são aqueles em que o usuário encontra-se no interior de prédios e/ou construções, de modo a não permitir uma visada direta (sem obstáculos) entre o dispositivo móvel e a antena receptora.

Os ambientes chamados urbanos são aqueles no qual existe uma visada direta entre o usuário e a antena receptora, porém a concentração de dispositivos móveis e de edificações, naquela área, é considerada bastante alta.

Com relação aos ambientes suburbanos, esses se caracterizam por possuir uma baixa concentração de edificações e de dispositivos móveis, em relação às áreas urbanas.

Já os ambientes classificados como rurais apresentam uma baixa concentração, tanto de edificações quanto de dispositivos móveis. Nessas condições, as operadoras utilizam menor concentração de estações-base para sua cobertura.

Deste modo, de acordo com o ambiente em que será empregado o serviço de localização, existirão tecnologias específicas, que melhor atendem as necessidades do serviço.

4.2.1. Tecnologias para Ambientes Internos

As tecnologias de posicionamento para ambientes internos possibilitam a localização de dispositivos em uma faixa de cobertura limitada, como uma edificação ou outra área confinada (por exemplo: ginásios, armazéns e museus). Essas tecnologias são dependentes de um conjunto de ferramentas usadas para transmitir dados remotamente em ambientes fechados. Essas ferramentas fornecem o suporte necessário para a realização da captação de um sinal, como emissores e receptores. Dentre as tecnologias existentes, podem ser destacados [10]: (i.) sensores infravermelhos; (ii.) redes locais sem-fio (*Wireless Local Area Networks* – WLANs); (iii.) *Bluetooth*; (iv.) Identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification* – RFID); e (v.) *Indoor GPS*.

i. Sensores Infravermelhos

Os primeiros sistemas de localização para ambientes internos desenvolvidos utilizavam sensores infravermelhos. Nesses sistemas, vários transmissores, que têm a capacidade de enviar seus próprios identificadores (IDs), são instalados em vários locais em um edifício, como portas, paredes, salas e corredores. Um elemento computacional com receptores infravermelhos utiliza esses sinais para determinar a posição desejada. Contudo, como a intervenção de objetos pode facilmente bloquear os sinais infravermelhos, os sistemas de localização baseados em transmissão de sinal de rádio (*radio-based positioning*) surgiram como alternativas mais atrativas.

Hoje em dia, uma grande quantidade dos sistemas de posicionamento para ambientes internos que são baseados em rádios de banda-estreita e tecnologias de infravermelho foi desenvolvida. Alguns dos mais importantes são: *Active Badge*, *Active Bat* e *Cricket* [36]. O sistema de localização *Active*

Badge, que foi desenvolvida pelo laboratório de pesquisas da Olivetti, atualmente AT&T Cambridge, consiste de um sistema de áreas de proximidade (proximidade celular) que utiliza tecnologia de infravermelho. Pessoas carregam pequenos elementos que emitem um identificador único a cada dez segundos ou quando requisitado. Esse sistema também possibilita a informação da localização absoluta, isto é, localização do ambiente em que se encontra o indivíduo, embora com uma precisão de muitos metros. Posteriormente, os pesquisadores da AT&T desenvolveram o sistema de localização *Active Bat*, que utiliza uma técnica de ultra-som para possibilitar maior precisão de localização física que o *Active Badge*. O sistema é capaz de localizar objetos com um erro de nove centímetros de sua posição real em 95% das vezes. Algumas vantagens dessa alternativa são: escalabilidade; facilidade de distribuição; e custo de implementação. Complementando o sistema *Active Bat*, o sistema de suporte de localização *Cricket* utiliza uma combinação de emissores de ultra-som e de rádio-frequência para criar a infra-estrutura e acopla receptores nos objetos a serem localizados. Nesse sistema, emissores enviam um sinal de RF simultaneamente ao envio de um pulso ultra-sônico. Receptores, acoplados aos dispositivos móveis, captam esses sinais e estimam sua posição através da diferença de velocidade de propagação entre a recepção do sinal RF (velocidade da luz) e do pulso (velocidade do som). Dessa maneira, a precisão da informação de localização é refinada.

ii. Redes Locais sem-fio – *Wireless Local Area Network* (WLAN)

Mais recentes pesquisas em computação direcionada para sistema de localização têm enfatizado as tecnologias mais novas e rápidas, como WLANs e seus métodos de posicionamento associados para a identificação de objetos e pessoas em áreas limitadas. Um exemplo de implementação baseada em WLAN é o RADAR [37], um sistema de rastreamento em edificações desenvolvido pela *Microsoft Research Group*, baseado na tecnologia de redes sem-fio IEEE 802.11 [10]. O sistema RADAR capta a força e a relação sinal ruído de sinais enviados por dispositivos sem fio e identifica sua localização, em duas dimensões, dentro de uma edificação. Essa abordagem tem a vantagem de requerer apenas umas poucas estações-base e a reutilização da infra-estrutura de rede

wireless já existente no ambiente. Dentre suas desvantagens, pode ser destacada a dificuldade de aplicação desse sistema em edificações com vários andares.

iii. *Bluetooth*

Bluetooth, um padrão de rádio faixa curta para conectar dispositivos e habilitar voz e transferência de dados entre eles, permite maior precisão que as WLANs quando se trata de localização de dispositivos. Devido a isso, várias empresas já anunciaram seus serviços de localização e suas tecnologias de posicionamento baseadas nesse padrão.

É usado não só para comunicação entre pequenos dispositivos de uso pessoal, como PDAs, telefones celulares de nova geração e computadores portáteis, mas também para a comunicação de periféricos (como impressoras, *scanners*) e qualquer dispositivo dotado de um chip *Bluetooth*.

Opera dentro da banda dos 2,4 GHz com faixa de alcance desde 10 metros a cerca de 80 metros. Cada dispositivo é dotado de um número único de 48 bits que serve de identificação. São possíveis conexões de até 8 dispositivos, desde que um deles seja um "*master*" (dispositivo principal). Uma rede formada por diversos "*master's*" (com um número máximo de 10) pode ser obtida para maximizar o número de conexões. A banda é dividida em 79 portadoras espaçadas de 1MHz, portanto cada dispositivo pode transmitir em 79 diferentes frequências. Para minimizar as interferências, o dispositivo "*master*", depois de sincronizado, pode mudar as frequências de transmissão dos seus "*slaves*", até 1600 vezes por segundo.

Em relação à sua velocidade, pode chegar a 721 Kbps e possui três canais de voz. As desvantagens desta tecnologia são o seu raio de alcance, 10 metros e o número máximo de dispositivos que podem se conectar ao mesmo tempo.

iv. Identificação por Rádio Frequência - *Radio Frequency Identification*

Outra tecnologia relativamente nova para identificação e rastreamento de objetos em poucos metros quadrados é a Identificação por Rádio Frequência (RFID). Um sistema RFID integra uma antena com um circuito eletrônico computacional com a finalidade de formar um *transponder*

(*TRANSMitter/resPONDER* – um elemento capaz de emitir e captar sinais de rádio). Esse conjunto tem a capacidade de enviar algumas informações, que se encontram armazenadas em sua memória interna, quando existe uma requisição remota. As vantagens desse sistema RFID incluem a identificação à distância, operação sem visada direta entre o elemento leitor e o *transponder*, memória versátil e alta precisão devido a sua faixa de operação bastante estreita.

v. *Indoor* GPS

Finalmente, os sistemas de identificação de localização *Indoor* GPS são focados na ampliação das características do GPS para operação em ambientes internos. Os sistemas GPS puros tipicamente não são empregados nesses ambientes porque o sinal emitido pelos satélites não possui as características necessárias para penetração em construções. Não obstante, soluções *Indoor* GPS podem ser aplicáveis em áreas onde não existem barreiras significantes. Essas soluções levam em conta o baixo consumo de potência e os requisitos de pequeno tamanho dos dispositivos sem-fio, como telefones móveis e computadores de mão. O sinal de navegação é gerado por pseudolites (pseudo-satélites), que são dispositivos que geram um sinal de navegação semelhante ao sinal dos satélites do sistema GPS, no intuito permitir que os receptores possam ser compatíveis com os dois sinais. Geralmente, os pseudo-satélites são dispostos no topo de paredes ou em teto, de modo a permitir uma boa cobertura da área de interesse. Como no sistema GPS, no mínimo quatro pseudo-satélites têm que estar visíveis para a navegação [36].

4.2.2. Tecnologias para Ambientes Externos

Atualmente, existe um grande número de desenvolvimentos relacionados com serviços de localização para futuras gerações de dispositivos móveis. Uma larga faixa de diferentes sistemas de determinação de posição mostra uma heterogeneidade de alternativas existentes.

A qualidade de serviço esperada pode ser conhecida em termos de algumas características, dentre elas: a precisão conseguida, que pode variar de 5 metros (com a tecnologia A-GPS) até alguns quilômetros (com a tecnologia Cell-ID); o ambiente de uso, implicando em que as tecnologias baseadas em satélite não funcionam em ambientes internos e/ou fechados; velocidade de resposta, em que todas as tecnologias devem oferecer resultados em menos de 5 segundos, o que é considerado rápido para todos os casos [38].

O padrão GSM propôs quatro tecnologias padronizadas que atendem às necessidades previstas em sua especificação. São elas: Cell-ID (também conhecido como *Cell of Origin* – COO), E-OTD (*Enhanced Observed Time Difference*), TOA (*Time of Arrival*) e *Assisted GPS* (A-GPS). Além dessas, o E-CGI (*Enhanced – Cell Global Identity*), uma tecnologia que foi desenvolvida a partir do Cell-ID, também vem sendo utilizada para soluções de localização nas redes GSM.

Como o padrão GSM vem sendo atualizado periodicamente, já existem referências para as redes futuras em suas atuais especificações. Nas referências à UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*), redes sucessoras do GSM que incorporam conceitos de redes 3G, as propostas de tecnologias para o provimento de informações de localização de dispositivos foram: Cell-ID, *Observed Time Difference of Arrival* – OTDOA (sucessor do E-OTD para as redes 3G) e o A-GPS.

i. Identificação de célula – Cell-ID

A utilização do espectro de rádio-frequência é gerenciada por órgãos reguladores que disponibilizam somente um número limitado de rádio-frequências para comunicações telefônicas comerciais. Os governos administram essa questão e fornecem as licenças para os operadores comerciais, delimitando áreas geográficas de atuação e permitindo que cada um utilize uma faixa de frequências definidas em cada uma dessas áreas. Para maximizar a eficiência de uso da banda de frequência, as operadoras projetam suas redes em uma topologia dividida em células, conforme a Figura 4-1. Essa topologia permite que uma mesma frequência seja reutilizada em zonas que estão suficientemente distantes, de modo a anular a interferência eletromagnética entre os sinais. Cada número em uma célula da figura representa uma frequência que está sendo empregada naquela célula.

A identificação de célula é a tecnologia mais simples, porém a de menor precisão, no que diz respeito à localização de um dispositivo móvel celular. Todas as demais tecnologias utilizam, direta ou indiretamente, algumas das características da identificação de célula. Dessa maneira, um detalhamento mais extenso se faz necessário na explanação dessa tecnologia.

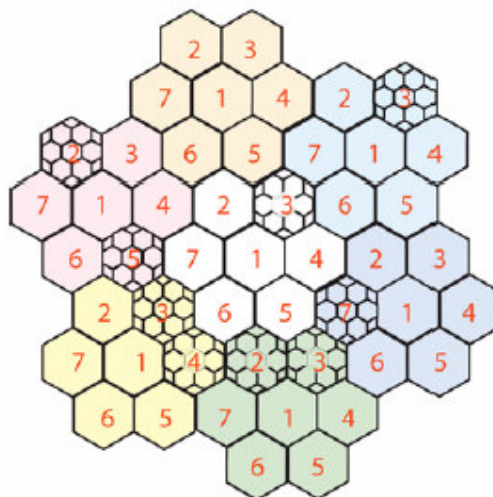


Figura 4-1: Padrão de reutilização de frequência celular (adaptado de [2]).

Através do Cell Id é possível identificar a célula na qual o usuário se encontra. Essa informação é inerente a qualquer sistema móvel uma vez que a rede sempre possui a informação da célula em que o terminal móvel está alocado, para poder fazer o encaminhamento de chamadas.

Quando um dispositivo móvel requer uma conexão à rede celular, ele deve se comunicar com a antena da estação base (na arquitetura GSM, apresentada no capítulo 2, esse elemento é a *base transceiver station* – BTS) mais próxima. A BTS é capaz de transmitir seu número de identificação (Cell-ID) e a identificação do aparelho que está realizando a chamada.

Como as BTS estão tipicamente situadas a quilômetros de distâncias, umas das outras, e a área de localização está associada ao tamanho da célula, a precisão da informação de localização pode variar de cerca de 500m a mais de 10 Km de raio, dependendo do ambiente coberto (rural, suburbano e urbano). Assim, área de interesse chega a ser medida em quilômetros quadrados. Tal nível de precisão pode ser utilizado para certas aplicações de LBS comerciais, cuja precisão não é fator crucial para seu

emprego, porém apresenta resultados pobres para atender, por exemplo, a serviços de emergência em zonas urbanas e/ou suburbanas.

Esforços e pesquisas foram realizados no sentido de obter algumas técnicas para melhorias na precisão dessa tecnologia. As principais melhorias foram obtidas com: a setorização de células; e a setorização de célula com *timing advance*. Quanto maior precisão é atingida com o avanço proporcionado, maior é o valor agregado pelo emprego do método. Essas melhorias são ilustradas na Figura 4-2. Empregando o Cell-ID em estações com antenas omnidirecionais, existe uma menor precisão e um menor valor agregado à rede pelos serviços de localização, na tentativa de identificar a posição de uma estação móvel. Nesse caso, o móvel pode estar localizado em uma área muito grande e, dessa maneira, essa informação pode ser pouco interessante. Com a setorização das células, aumentou-se a precisão e, conseqüentemente o valor agregado, pois o dispositivo a ser localizado estaria confinado a uma área menor. Já com o *time advance*, a determinação da possível localização do dispositivo de interesse é refinada ainda mais, aumentando a precisão da informação e agregando maior valor à rede móvel. Esse método utiliza medições de tempo de envio e retorno de um determinado sinal, que é encaminhado pela estação base ao dispositivo móvel, para precisar a localização do móvel. Posteriormente são apresentadas mais informações acerca desse método.

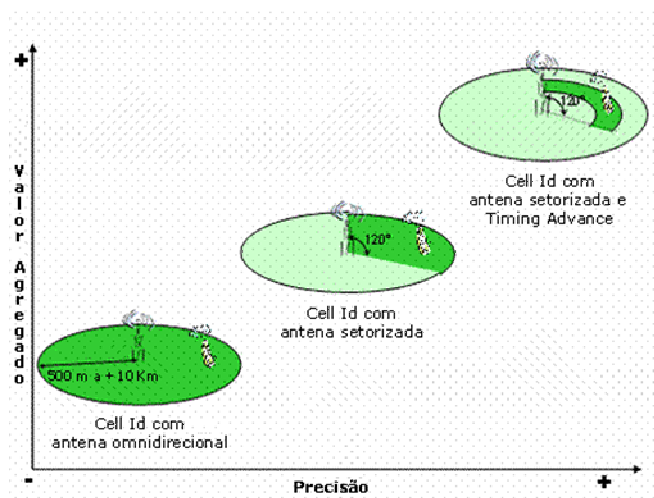


Figura 4-2: Melhoria de Precisão com Cell-ID

Detalhadamente, a tecnologia Cell-ID com antena setorizada é empregada em áreas com alta densidade populacional. Trata-se do arranjo de antenas em um modo setorizado, em geral utilizando

três conjuntos de antenas por estação. Cada um desses conjuntos cobre uma área com abertura angular equivalente a 120 graus, isto é, um terço do horizonte total, conforme Figura 4-3.

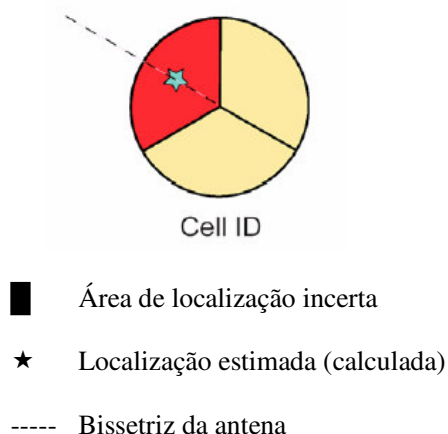


Figura 4-3: Método de localização Cell-ID com antenas setorizadas.

Para conservar o uso da largura de banda definida, as operadoras empregam tecnologias que dividem porções da informação em cada chamada. Dentre essas, uma das tecnologia mais empregadas nos serviços de telefonia móvel atuais é o TDMA (*Time Division Multiple Access*) [8], método de transmissão em que cada canal ocupa um intervalo de tempo distinto na mesma frequência, enquanto durar a comunicação designada para aquele canal. Em um sistema telefônico móvel celular com padrão TDMA, as estações móveis se revezam, no tempo, na transmissão/recepção sob a mesma frequência compartilhada. Nesses sistemas, o canal é compartilhado por até oito usuários, cada um transmitindo uma porção de sua informação em um *timeslot* distinto, de forma cíclica. A Figura 4-4 mostra um quadro (*frame*) do padrão TDMA, dividido em 8 *timeslots*. Isso significa que um usuário irá transmitir uma porção de sua informação em um determinado instante e depois que os demais usuários transmitirem suas porções de informação (depois de 4.615 ms) o mesmo *timeslot* estará apto a transmitir nova porção da chamada.

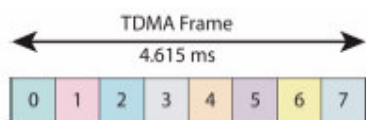


Figura 4-4: Quadro TDMA = 8 timeslots

O padrão GSM, que também trabalha com TDMA, possui o método de "*Timing Advance*". O princípio de funcionamento desse método é identificar qual o canal (*timeslot*) utilizado pelo dispositivo e medir o tempo de percurso de um sinal, originalmente utilizado para sincronização durante o envio de "*bursts*" de dados, no percurso BTS/terminal móvel/BTS. Através dessa medição é possível calcular a distância aproximada que um terminal móvel se encontra da BTS. Conforme é ilustrado na Figura 4-5, com o *timing advance* se ganha mais um nível de precisão na localização ao se reduzir a área (ou a faixa) onde o terminal pode ser encontrado. Comparando com a área setorizada da Figura 4-3, verifica-se que o provável localização do dispositivo de interesse ficou reduzida a uma estreita faixa no interior do setor da célula.

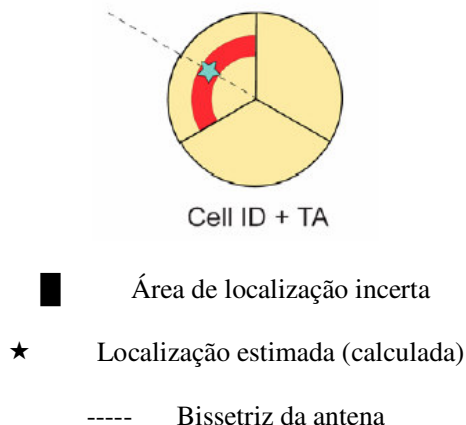


Figura 4-5: Método de localização Cell-ID com Timing Advance

Entretanto, a precisão desse método está limitada a aproximadamente 500 metros, possivelmente satisfatório para situações em zonas rurais mas praticamente impraticável para zonas urbanas e suburbanas. Essa precisão pode ser apenas suficiente para definir, por exemplo, quais usuários estão próximos a um determinado ponto de interesse (como supermercados ou estádios de futebol, por exemplo).

ii. Identidade Global de Célula

Outro recurso que pode ser desenvolvido a partir do Cell-ID é a Identidade Global de Célula [*Enhanced – Cell Global Identity (E-CGI)*] [10]. Em todos os sistemas móveis, os terminais celulares são solicitados pela BTS à realizar medições na potência recebida das antenas mais próximas. Essas

medições visam o controle automático de potência e, através da troca dessa informação com a rede, permitem que a rede decida sobre a realização de "*handover*" (mudança de célula). Para melhor compreender o funcionamento do E-CGI, um bom entendimento de como se dá a propagação de sinais de rádio é necessário.

Na Figura 4-6 é apresentado um diagrama de radiação genérico de uma antena utilizada em sistemas móveis. Uma antena é uma estrutura projetada para radiar energia eletromagnética efetivamente de uma maneira pré-determinada [39]. Um diagrama de radiação é a representação das propriedades de radiação de uma antena em função de um sistema de coordenadas espaciais. Nessa figura, nota-se a existência de um lóbulo principal e de lóbulos secundários. O lóbulo principal é o lóbulo de radiação que contém a direção de máxima radiação da antena, isto é, define o ângulo, ou o setor, também chamado de meia potência, onde a antena irá concentrar a maior parte de sua energia. Já os lóbulos secundários, ou laterais, informam a radiação existente em direções outras, que não a do lóbulo principal. Além disso, têm a importância de verificar como a antena está distribuindo a energia ao seu redor, fora da área de interesse de cobertura.

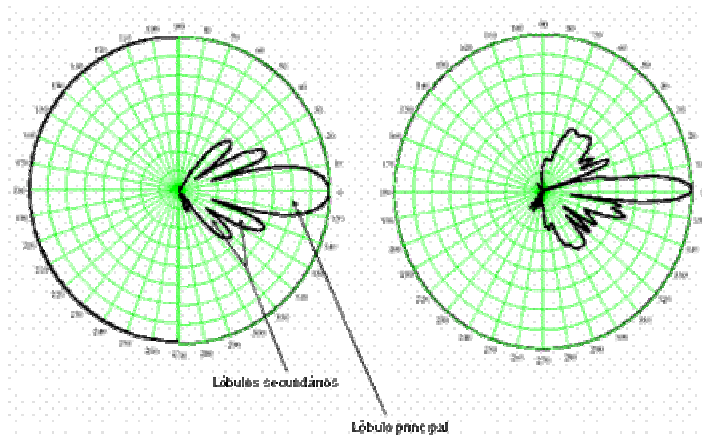


Figura 4-6:Diagrama de Radiação de uma Antena de BTS

Para uma dada potência de sinal recebido pela antena, na BTS (*base transceiver station*), pode-se associar um ganho da antena. Esse ganho indica o ângulo do dispositivo móvel em relação ao eixo central da antena da BTS. Esse eixo central nada mais é que a bissetriz do ângulo de abertura da antena transmissora. Dessa forma, acrescenta-se o ângulo à informação anterior de distância da BTS (obtida com o *time advance*), restringindo-se a probabilidade de localização do móvel. Observando-se

a Figura 4-7, percebe-se que o ângulo fornecido em um diagrama de radiação é aproximadamente simétrico. Assim pode-se verificar, com o auxílio da figura, que na realidade o móvel pode estar em dois pontos distintos e simétricos (Y1 e Y2) em relação ao eixo central, exceto quando o móvel encontra-se no próprio lóbulo principal (Z - ângulo 0°).

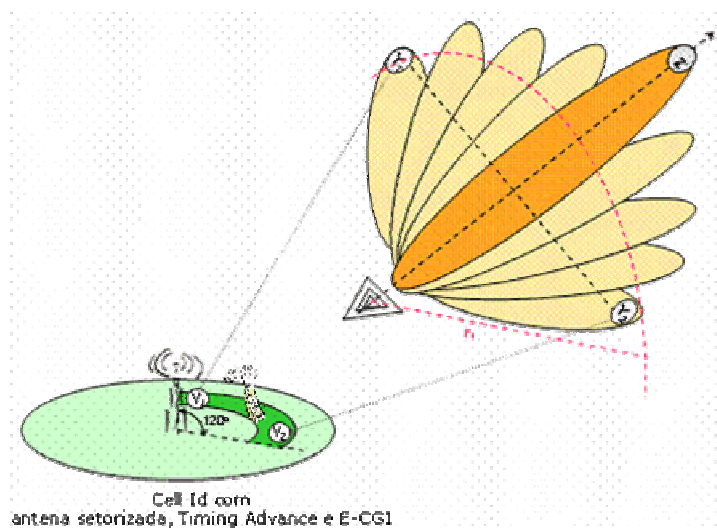


Figura 4-7: E-CGI

Para solucionar esse problema de duplicidade de informação, com respeito a dois pontos distintos simetricamente opostos, a única forma seria que as medições fossem realizadas por mais de uma BTS. Assim, utilizando-se a intersecção de informações de um conjunto de BTS, semelhantemente à técnica de triangulação, é possível determinar uma posição mais precisa do dispositivo móvel.

De maneira geral, pode-se afirmar que todas as soluções baseadas em Cell-Id são extremamente dependentes da densidade de células, da configuração de rede e do ambiente.

iii. Diferença de Tempo Observada – *Observed Time Difference* (OTD)

Originalmente, foi desenvolvida a tecnologia de diferença de tempo observada (*Observed Time Difference* – OTD). Nela o dispositivo observa a diferença de tempo entre a recepção de sinais de controle (*bursts*) transmitidos de uma BTS de referência e de uma BTS vizinha. Essa OTD é dada pela fórmula:

$$OTD = t_{rxN} - t_{rxR} \quad (\text{Fórmula 4.1})$$

onde, t_{rxN} corresponde ao instante de recebimento do sinal de *burst* enviado pela BTS vizinha e t_{rxR} corresponde ao instante de recebimento do sinal de *burst* proveniente da BTS de referência. Normalmente a BTS de referência é aquela que comporta a célula na qual o dispositivo se encontra no momento, de modo a se utilizar o canal com melhor relação sinal/ruído. A Figura 4-8 ilustra um diagrama temporal de uma possível seqüência de chegada dos *bursts* ao dispositivo móvel, mostrando como é obtido um valor para a OTD. Nela, dois sinais, provenientes de BTS distintas, são recebidos. A diferença entre o instante de chegada do sinal da BTS de referência e o instante de chegada do sinal da BTS vizinha é o resultado para a medida da OTD.

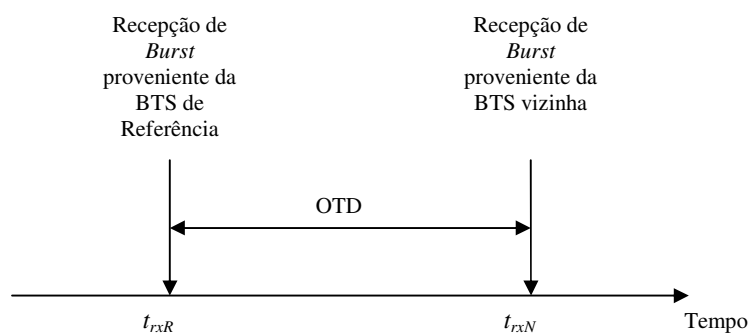


Figura 4-8: Medida básica de OTD em um dispositivo móvel (adaptado de [40])

A medida da OTD foi aprimorada para possibilitar a repetição de medições entre os sinais da BTS de referência e de outras BTS vizinhas. Esse avanço teve o intuito de permitir a coleta de um grande conjunto de medidas na qual a estimativa da posição do dispositivo possa ser determinada. Geometricamente, essa posição desconhecida do terminal é melhor estimada ao processar as medidas entre o terminal e, no mínimo, três BTS de coordenadas conhecidas. Esse método aprimorado é conhecido como *Time Difference of Arrival* (TDOA) ou também como *Enhanced Observed Time Difference* – E-OTD. Nele, as medidas de diferença de tempo de chegada dos sinais pelo terminal consistem da soma de dois componentes, dada pela fórmula:

$$OTD = GTD + RTD \quad (\text{Fórmula 4.2})$$

Um desses componentes, a diferença de tempo geométrica, *Geometric Time Difference* - GTD, está relacionado com a geometria em que a situação está disposta. Nesse componente está descrita a

contribuição de diferentes tempos de propagação do sinal (o que corresponde a diferentes distâncias) entre o dispositivo de interesse e duas BTS. O GTD pode ser determinado a partir da Figura 4-9. Ele corresponde à real informação a respeito da posição do dispositivo, pois traz consigo a informação dos reais valores físicos que determinam a posição do terminal móvel. Sua fórmula é dada por:

$$GTD = (d_{mN} - d_{mR}) / c \quad (\text{Fórmula 4.3})$$

onde, d_{mN} é a distância entre a estação móvel e a BTS vizinha, d_{mR} é a distância entre a estação móvel e a BTS de referência e c é a velocidade das ondas de rádio no meio (ar).

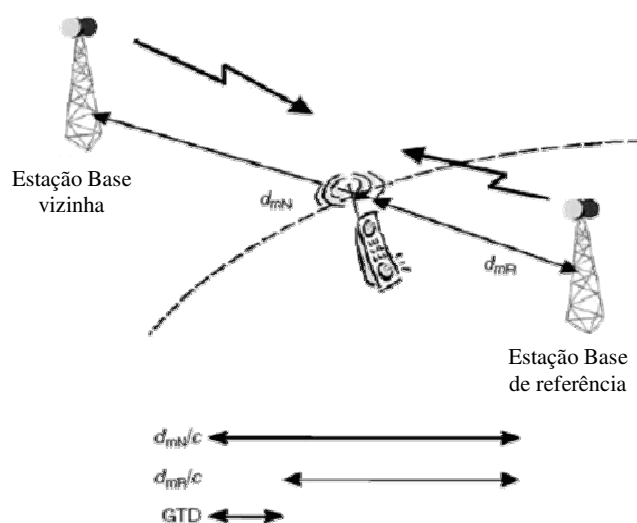


Figura 4-9: GTD (adaptado de [40])

Somado a esse componente, existe aquele que advém de sistemas onde as BTS não estão sincronizadas e determinam a diferença de tempo relativa da transmissão de sinais de BTS vizinhas. Essa é a diferença de tempo real, *real-time difference* – RTD. RTD representa a diferença de sincronismo entre a BTS de referência e as vizinhas, isto é, a diferença relativa entre os tempos de transmissão de seus *bursts*. O valor numérico RTD é exatamente o valor obtido para OTD na fórmula:

$$OTD = RTD = t_{rxN} - t_{rxR} \quad (\text{Fórmula 4.4})$$

Se as BTS estão sincronizadas e transmitem ao mesmo tempo, a RTD é zero.

Geometricamente, GTD define um conjunto de pontos no plano que têm a propriedade de que a diferença de distância de cada ponto para a estação base vizinha e a de referência, respectivamente, é

constante e vale $GTD \times "c"$ (velocidade da luz). Isso nada mais é que a definição de uma hipérbole, tendo seu foco situado na linha entre a BTS de referência e a vizinha [40]. Assim, o valor de GTD limita a possível localização do dispositivo de interesse observando um valor constante entre a diferença de tempo de chegada do sinal de uma BTS de referência e de uma BTS vizinha. Isso significa que a posição do dispositivo móvel estará limitada a uma hipérbole. Quando, no mínimo, duas hipérbolas são obtidas, a posição do móvel pode ser estimada em sua intersecção. Em alguns casos, duas hipérbolas possuem duas intersecções. Então, a única solução requer uma hipérbole adicional, ou outra informação adicional (por exemplo, a área de cobertura da célula de referência) é necessária para selecionar uma das intersecções. Isso é demonstrado na Figura 4-10. Se somente as hipérbolas 1 e 2 estiverem disponíveis, existem duas possíveis intersecções (A e B). Ao adicionar a leitura da terceira hipérbole, uma das intersecções é apresentada como a localização estimada do dispositivo. Se não existir a terceira hipérbole, a informação de qual o setor da BTS encontra-se o dispositivo também pode ser utilizada para localizar o terminal móvel.

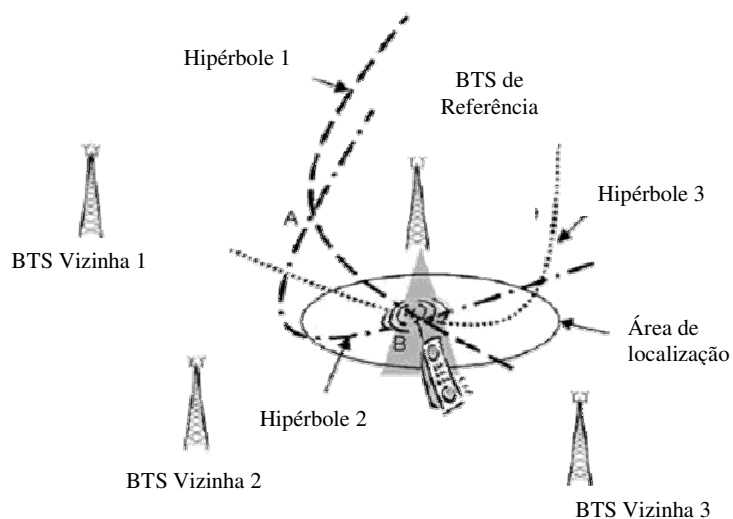


Figura 4-10: E-OTD (adaptado de [40])

Desta forma, no método E-OTD, a idéia base é determinar a posição relativa do dispositivo ao examinar a diferença existente no tempo em que o sinal chega no alvo (dispositivo móvel ou BTS), ao invés do tempo de chegada absoluto. Assim, se a diferença de tempo entre o dispositivo móvel e as

BTS vizinhas está disponível e existe linha de visada entre o dispositivo e a BTS, o terminal móvel pode ser encontrado na hipérbole dada pela fórmula:

$$D_1 - D_3 = c\Delta t = \sqrt{(X_i - x_m)^2 + (Y_i - y_m)^2 + (Z_i - z_m)^2} \quad (\text{Fórmula 4.5})$$

onde D_i é a distância entre o dispositivo móvel e a i -ésima BTS vizinha, c é a velocidade da luz e Δt é a diferença de tempo da chegada do sinal das BTS vizinhas. X_i , Y_i e Z_i correspondem às coordenadas das BTS vizinhas envolvidas no processo de localização, x_m , y_m e z_m são as coordenadas do dispositivo móvel a ser localizado. Como mostrado na Figura 4-10, ao tomar duas medidas da diferença de tempo (E-OTD) de sinal de três BTS distintas, duas a duas, a posição do terminal pode ser estimada na intersecção dessas hipérbolas. Contudo, para se obter uma única e precisa estimativa, deve-se ter no mínimo as medidas de três BTS.

iv. Tempo de Chegada – *Time of Arrival* (TOA)

Na padronização do GSM em 98 e 99 (Rel'98 e Rel'99 [41]), o método de localização por tempo de chegada (*Time of Arrival* – TOA) [10] foi introduzido. A Figura 4-11 ilustra o princípio de funcionamento do TOA e apresenta os elementos necessários para essa tecnologia de posicionamento estimar a localização do dispositivo móvel. Essa localização se dá através das leituras da chegada dos sinais em três BTS vizinhas. Na figura, três BTS (1, 2 e 3) são utilizadas para estimar a localização do telefone móvel, através das medidas dos sinais recebidos por suas respectivas LMU (*Location Measurement Unit(s)*).

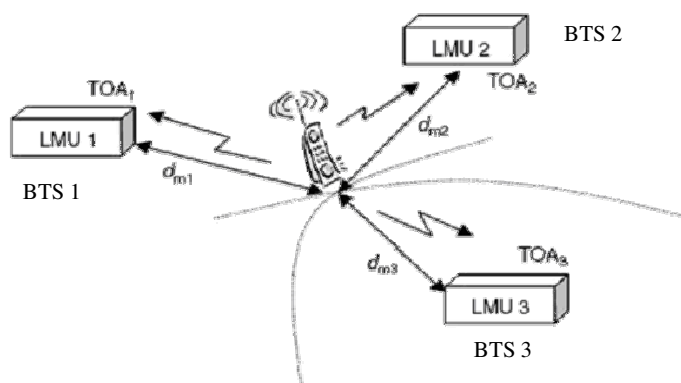


Figura 4-11: Princípio de Funcionamento do TOA (adaptado de [40])

No método TOA, o cálculo da posição é baseado no atraso do sinal de rádio do receptor para o transmissor. Essa chegada é calculada por elementos chamados de LMU, localizados nas BTS. Quando existem ao menos três TOA disponíveis, a posição do dispositivo pode ser determinada através do emprego de técnicas de triangulação. Essas técnicas minimizam a área de possível localização do terminal em relação as BTS próximas, que estão sendo empregadas para medir o tempo de chegada desse sinal. Cada uma dessas BTS informa que o terminal que está sendo localizado encontra-se a uma determinada distância dela, porém sem precisar em qual direção. Assim, cada BTS informa uma área, no formato de um anel, onde o dispositivo possa se encontrar. Ao confrontar as informações de três BTS, a tecnologia TOA pode estimar a posição do terminal ao verificar onde está localizada a intersecção das três medidas.

As distâncias do terminal para as BTS (dm_1 , dm_2 e dm_3) são proporcionais ao tempo de propagação de um sinal emitido de um elemento para o outro, respectivamente. Assim, se existe linha de visada entre o dispositivo e a BTS, a distância entre eles é dada por um produto que equivale à velocidade de uma onda eletromagnética no ar multiplicado pelo tempo de percurso entre esses dois elementos, como um movimento uniforme. Contudo, na realidade, quase sempre existe algum erro com respeito às leituras TOA devido a não existência de linha de visada entre a BTS e o terminal, perda de potência do sinal, reflexão e áreas de sombra. Portanto, uma margem de erro da leitura estimada deve ser levada em conta nas avaliações de precisão do método TOA.

Por tudo isso, para o TOA conseguir obter uma única estimativa de posição do terminal móvel, é necessário a leitura de, no mínimo três BTS, uma de referência e duas outras vizinhas. Assim, a posição do dispositivo pode ser estimada ao calcular a distância entre o terminal e as BTS, o que pode ser chamado de quadrado mínimo dos círculos TOA. Esse quadrado mínimo pode ser visualizado matematicamente através da Fórmula 4.6:

$$D = \sqrt{(X_i - x_m)^2 + (Y_i - y_m)^2 + (Z_i - z_m)^2} + \varepsilon \quad (\text{Fórmula 4.6})$$

onde X_i , Y_i e Z_i correspondem às coordenadas das BTS vizinhas envolvidas no processo de localização, x_m , y_m e z_m são as coordenadas do dispositivo móvel a ser localizado e ε é o erro associado à estimativa.

Existem redes celulares que são mais ou menos sensíveis ao grau de sincronismo de seus elementos. O método TOA requer um sincronismo muito preciso entre as BTS, o que representa um inconveniente para sistemas celulares não sincronizados [40]. A entidade responsável pelo cálculo da posição deve também ser capaz de perceber a diferença de tempo entre o sinal transmitido e o sinal recebido, devido à velocidade com que os eventos ocorrem, por se tratar de ondas eletromagnéticas.

No relatório 4 da especificação do GSM (Rel'4 [41]), o método TOA foi removido. Entretanto, uma versão simplificada chamada *Uplink Time Difference Of Arrival* – U-TDOA [42], foi proposta e incluída novamente no relatório 6, Rel'6 [41]. Nesta variante, a diferença do tempo de chegada medido pelas LMU 1 e 2, em duas diferentes posições, determinam uma hipérbole de equação:

$$c * (TOA_1 - TOA_2) = d_{m1} - d_{m2} \quad (Fórmula 4.7)$$

onde c é a velocidade das ondas de rádio no meio, e d_{m1} e d_{m2} representam a distância entre a estação móvel e as LMU 1 e 2, respectivamente. A localização procede da mesma forma descrita para o método E-OTD.

A precisão das tecnologias TOA/U-TDOA é comparável àquela obtida com o E-OTD. As TOA/U-TDOA podem ser implementadas sem nenhuma alteração nos equipamentos móveis, já que se utilizam dos sinais padrões de transmissão. Contudo requerem LMU capazes de medirem o tempo de chegada desses sinais, além de necessitar que essas LMU tenham um sincronismo bastante preciso (na prática, sincronismo por satélite), para permitir que as medidas TOA sejam comparáveis entre si. A coordenação entre as BTS é necessária no intuito das LMU conseguirem rastrear o dispositivo móvel quando o mesmo estiver transmitindo sinais. Isso significa que uma carga extra de sinalização é gerada. Também, a capacidade está limitada à necessidade de se ter muitas LMU para localizar um dispositivo móvel a cada vez.

A U-TDOA foi a tecnologia escolhida para operar nos serviços de emergência dos Estados Unidos (E911), por atender a todos os requisitos do FCC (*Federal Communications Commission*), órgão regulador das questões de telecomunicações daquele país. No Brasil, não existem referências a

esforços acerca de tecnologias de localização para os serviços de emergência, pois os serviços de localização ainda estão sendo introduzidos no país.

v. GPS / A-GPS

Para operar apropriadamente, o receptor GPS necessita de uma visão clara do céu e dos sinais de pelo menos quatro satélites, requisitos que excluem a sua aplicação para ambientes internos (*indoor*). Entretanto, sistemas de *indoor* GPS também foram desenvolvidos, para permitir a localização de dispositivos móveis em um ambiente fechado, como uma construção, tomando informações do que se pode chamar de “pseudo-satélites”. Essa versão modificada do GPS, conhecida como Sistema de Posicionamento Global Assistido (*Assisted Global Positioning System – A-GPS*) [42], combina as características das tecnologias baseadas em rede e baseadas em dispositivos (seção 4.1), e assim pode ser considerada uma solução híbrida. A tecnologia envolvida no A-GPS ajuda a superar alguns dos fatores inconvenientes do GPS puro como o custo, o consumo de energia, velocidade de determinação de localização e necessidade de linha de visada, ao direcionar boa parte do processamento, que seria responsabilidade do dispositivo, para a rede móvel. Com o A-GPS, a rede mantém “um rastro” de posição do dispositivo e então, quando a visada para o satélite é obstruída, uma boa estimativa de localização pode ser obtida baseada na última leitura. A precisão do A-GPS pode atingir 50 metros, quando os usuários estão dentro de construções, e 15 metros, para usuários que se encontrem ao ar livre. Embora, em uma perspectiva de dispositivo, o GPS puro seja mais oneroso que o A-GPS, esse último requer um investimento adicional nas características da rede. Apesar disso, sua performance em termos de velocidade, cobertura e precisão é considerada superior. Assim, estima-se que o A-GPS, adicionado a elementos de outras tecnologias de posicionamento, se torne a solução convergente para a maioria dos sistemas móveis [36].

4.2.3. Características da Qualidade de Serviço

Um importante parâmetro para se aferir como uma tecnologia de posicionamento para ambientes externos trabalha é sua Qualidade de Serviço (*Quality of Service* – QoS). Esse é um tópico que também é relacionado para os ambientes internos, porém o foco desse trabalho está voltado para as tecnologias de posicionamento associadas aos ambientes externos. Trata-se de um meio de avaliar o quanto o emprego da tecnologia é eficaz. É possível quantificar valores estatísticos de operação do sistema. Alguns fatores da qualidade de serviço de uma tecnologia de posicionamento são: (i.) precisão; (ii.) latência; (iii.) taxa de sucesso; e (iv.) disponibilidade.

i. Precisão

Um dos fatores cruciais dos sistemas de localização é a precisão. Essa característica reflete o grau de proximidade que esses sistemas informam a posição do dispositivo rastreado em relação à localização real do mesmo. Essa precisão está ligada diretamente às características da tecnologia de posicionamento incorporada a esses sistemas, no que se refere ao ambiente de aplicação.

A Figura 4-12 apresenta um gráfico comparativo entre tecnologias de posicionamento, em termos da precisão e do ambiente de uso. De acordo com a figura, a melhor precisão pode ser obtida com a tecnologia A-GPS, em áreas mais abertas (ambientes menos urbanos). Além disso, com E-OTD e TOA podem ser obtidos valores aproximadamente uniformes, em torno de 100 metros, nos mais variados ambientes.

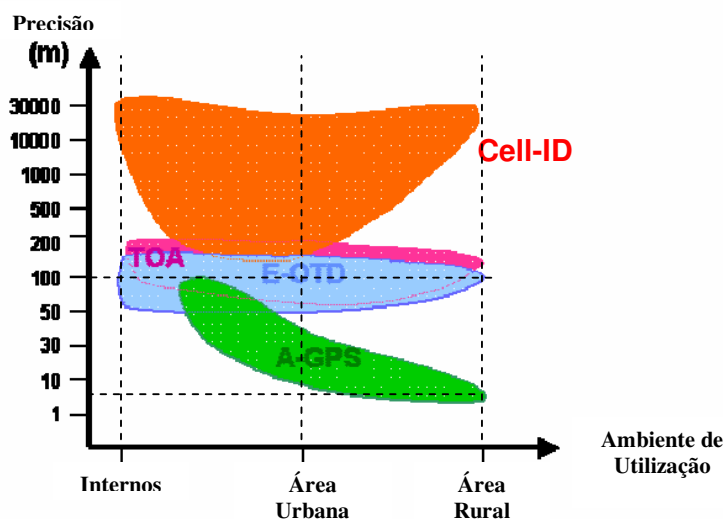


Figura 4-12: Precisão versus Ambiente de Uso das tecnologias de posicionamento (traduzido de [38])

Como pode ser esperado, devido à alta dependência de muitas variáveis, mais particularmente das condições ambientais e da infra-estrutura da rede, a característica de cada tecnologia pode ser bastante variável. Na figura, pode-se observar que não se tem apenas um simples valor para cada tipo de tecnologia, mas uma faixa de valores que podem ser conseguidos, o que justifica a ilustração de uma “forma” irregular desenhada no plano do gráfico [38].

Para conseguir atender aos vários ambientes com boa precisão nas informações de localização, muitos sistemas procuram utilizar aquelas tecnologias de posicionamento que proporcionem resultados mais abrangentes (por exemplo, TOA ou E-OTD, que apresentam resultados uniformes). Outra alternativa empregada é a utilização de soluções híbridas, isto é, combinar mais de uma tecnologia para tirar proveito das suas melhores características. Essa solução busca fornecer resultados mais precisos e também uniformes, nos mais variados ambientes de aplicação.

ii. Latência

Todos os métodos de precisão na informação da posição de dispositivos móveis são baseados na coleta de sinais de rádio de vários tipos e de diferentes fontes (por exemplo, de muitas estações rádio-base ou vários satélites). Esses sinais são processados e os resultados são comparados para

determinar as diferenças de tempo de chegada no dispositivo (para soluções baseadas em dispositivo) ou nos componentes da rede (para soluções baseadas em rede). Assim, a latência corresponde ao tempo de resposta que o sistema é capaz de utilizar para processar a informação desejada.

O passo inicial do processamento consiste em amostrar uma porção do sinal analógico – por exemplo, a cada 100 milissegundos – e convertê-la no formato digital para a subsequente comparação com os demais sinais. Dos princípios básicos da física e da estatística, quanto maior for a amostragem, mais precisa é a estimativa da posição final. Para conseguir a leitura mais precisa possível, a tecnologia de posicionamento indica uma determinada quantidade de amostras necessárias. Essa estratégia aumenta o tempo requerido para o cálculo da posição. Esse tempo também é conhecido como tempo de integração e está diretamente associado à latência do sistema em disponibilizar a localização do dispositivo.

Se os sinais que estão sendo amostrados são bloqueados por algum motivo, seja por edificações, tempo nublado (para os sistemas com satélites) ou por outros obstáculos, maiores tempos de integração serão necessários para alcançar o nível de precisão desejado.

Assim, a precisão e a latência de localização de dispositivos móveis são inversamente proporcionais.

iii. Taxa de Sucesso

Também chamada de *Yield*, essa característica pode ser definida como a razão, ou a percentagem, entre os sucessos de localização e as tentativas executadas. Em projetos de sistemas de localização de emergência, por exemplo, devem ser consideradas as falhas de um sistema para prover a posição do dispositivo. Obviamente, para esse tipo de aplicação, a falha, que pode ocasionar perda de vidas, deve ser anulada, isto é, o *Yield* deve ser o maior possível.

Excetuando falhas do sistema devido à pane de seus componentes (geralmente anuladas por redundâncias no sistema), a causa mais comum de falha de localização é o fenômeno de bloqueio do sinal do dispositivo. Alguns sistemas de localização são mais sensíveis a esses tipos de falhas que outros. Por exemplo, o mais bem conhecido e extremamente preciso sistema GPS, que já é empregado

há muitos anos, é afetado bruscamente em ambientes urbanos (devido ao bloqueio por edificações, dos sinais dos quatro satélites necessários para o dispositivo identificar sua localização) e tem seu funcionamento totalmente anulado em ambientes internos.

Para determinadas aplicações de localização, o *Yield* pode limitar o uso de sistemas que sofrem com fenômenos de bloqueio. Isso se deve porque a grande concentração de dispositivos móveis se encontra nos centros urbanos. Testes de campo demonstraram que dispositivos que suportam a tecnologia A-GPS podem falhar na informação da localização em 20% das tentativas [42].

iv. Disponibilidade

Essa característica poderia se incluir no subconjunto “taxa de sucesso”, mas sua definição aborda, especificamente, a questão: “A tecnologia empregada é capaz de localizar todos os tipos de telefones móveis?” Essa é a principal consideração no emprego de sistemas de localização baseados em dispositivos, tal como o A-GPS.

Sistemas baseados em dispositivos não podem, por exemplo, prover funcionalidades de localização de dispositivos móveis em situações de emergência para todos os dispositivos de sua rede. Apenas aqueles usuários que possuem aparelhos que suportam esta tecnologia serão atendidos. Isto é, os aparelhos possuem o conjunto hardware/software necessário para possibilitar a localização. O crescente avanço tecnológico dos dispositivos, nos dias atuais, resulta em um aumento em seus valores para o consumidor. Isso significa que dispositivos dotados de recursos especiais de hardware e software também possuem um alto preço. Com o tempo, a tendência é que esse custo diminua, entretanto essa regressão costuma ser lenta, de modo a atrasar o emprego universal do sistema em alguns anos.

Os sistemas de localização baseados em rede não requerem modificações nos equipamentos móveis, independentes de fabricante, modelo ou tipo. Isso significa que a base de clientes das operadoras é totalmente atendida por esses serviços, de modo a possibilitar um acesso universal à tecnologia.

Outros fatores de qualidade de serviço que também devem ser mencionados, referentes aos sistemas de localização, são: a flexibilidade; a versatilidade; e a cobertura.

- flexibilidade – uma plataforma de LBS é flexível se suportar mudanças sem alterar suas características de funcionamento, operando da mesma maneira. Alterações nas características da rede, como troca da frequência de transmissão ou tecnologia de acesso à rede, assim como a ampliação da mesma e o aumento do número de clientes da operadora, não devem influir na operação da plataforma de LBS;
- versatilidade – os serviços baseados em localização têm como principal característica a precisão de suas respostas. Uma plataforma de LBS é versátil se for possível agregar a seu funcionamento, as melhores características de várias tecnologias de posicionamento, de modo a melhorar sua performance. Isso é conhecido como operação em modo híbrido; e
- cobertura – uma tecnologia de posicionamento deve responder às solicitações de localização de forma satisfatória e consistente em todos os ambientes, internos e externos. Se essa tecnologia atender às solicitações em um determinado ambiente, é dito que ela possui cobertura para àquele ambiente;

Além dessas características da qualidade de serviço, existem alguns fatores que são determinados pela física, isto é, fatores que levam em consideração as condições físicas e/ou geométricas do cenário. Esses fatores, também conhecidos como diretivas de performance, ditam o comportamento e a capacidade dos sistemas de localização, são eles:

- relação sinal-ruído – esse parâmetro é uma medida da quantidade de interferência presente no meio. Quanto maior for essa relação, maior será a precisão que o sistema pode conseguir;
- largura de banda – trata-se da quantidade de informação que pode ser transmitida em um determinado meio de comunicação durante uma unidade de tempo. Uma maior largura de banda do sinal proporciona uma melhor precisão, pois permite a captura de uma parcela maior da energia do sinal;
- super-resolução – trata-se da combinação de pequenas porções de sinal para recompor o sinal original. Sinais de rádio sofrem com o fenômeno de “múltiplas rotas”. Isto significa que o

sinal se torna mais pobre e distorcido depois de desviar em construções e outros obstáculos, atingindo o receptor com fases e/ou amplitudes distintas. Vários processos matemáticos, conhecidos como super-resolução, podem ser empregados para atenuar os efeitos desse fenômeno e recompor o sinal a partir das parcelas recebidas;

- geometria transmissor-receptor – é uma avaliação da geometria em que a situação se encontra. Também referida como Diluição Geométrica da Precisão, a distribuição das antenas ao redor do dispositivo móvel irá afetar a precisão medida. Uma distribuição mais uniforme aumenta a precisão; e
- número de medidas – baseado em simples princípios estatísticos, mais antenas, ou cópias do sinal original, irão melhorar a precisão calculada.

O desenvolvimento do simulador não empregou diretamente as tecnologias apresentadas nesse capítulo. Porém, seu estudo é importante para compreender o funcionamento da plataforma de LBS à qual este simulador está instanciado.

Das qualidades de serviço apresentadas, duas delas enquadram-se diretamente ao simulador: a precisão e a latência. As demais estão mais relacionadas com a rede da operadora, não sendo objeto deste trabalho.

A referida plataforma de localização apresenta uma solução híbrida, podendo empregar mais de uma tecnologia. Assim, o comportamento do simulador deverá estar relacionado com uma delas, no que diz respeito à precisão em que a informação de localização é disponibilizada. A precisão estará simulando qual tecnologia estaria sendo utilizada pela plataforma para informar a localização do dispositivo. Já a latência estaria associada com o esforço matemático e computacional envolvidos nos processos de obtenção e disponibilização dessa informação.

Tudo isso será detalhado nos dois próximos capítulos, juntamente com a definição e a implementação do projeto propriamente dito.

5. O SIMULADOR

Nas últimas décadas, com o estabelecimento definitivo da telefonia celular em todas as camadas da sociedade, o foco de boa parte das pesquisas, em torno dos setores de telecomunicações, esteve voltado para o provimento de soluções que agregassem valor e praticidade às redes e aos dispositivos móveis. Tais estudos têm englobado o desenvolvimento de novas tecnologias, o aperfeiçoamento das tecnologias existentes para acompanhar as necessidades dos usuários e o fornecimento de novos serviços associados às redes e aos dispositivos. Esses são os desejos comuns existentes em todos os operadores do setor de telecomunicações global.

Uma dessas linhas de pesquisa, que vem apresentando-se de maneira destacada, está voltada para soluções que buscam empregar o conjunto formado pela rede da operadora e o dispositivo móvel como parte de um sistema de posicionamento do usuário. Isso não só facilita a própria localização física do usuário, mas também a disponibilização das informações quanto aos possíveis pontos de interesses que estejam nos arredores da localidade do usuário.

Vários fabricantes desenvolveram suas chamadas plataformas de localização de modo a oferecer esse tipo de serviço e suas variantes. Os serviços proporcionados por essas plataformas de localização são enquadrados hoje nos chamados Serviços Baseados em Localização (*Location-Based Services* – LBS) [10]. Todas as soluções desenvolvidas baseiam-se no princípio de que o dispositivo móvel é capaz de funcionar como uma ferramenta de localização bastante precisa de seu proprietário.

O desenvolvimento do simulador apresentado encontra-se instanciado à plataforma de LBS da Siemens única e exclusivamente por dois motivos. O primeiro deles é o fato de que a referida plataforma proporciona uma interação com o mundo externo através de uma interface de programação (*application programming interface* – API), cuja documentação é aberta e livre a qualquer pessoa. Essa especificação pode ser obtida em [43], endereço da *Open Mobile Alliance*. Essa é uma aliança que visa facilitar a adoção de serviços de redes móveis através da interoperabilidade entre as várias operadoras, a partir do emprego de soluções uniformes e padronizadas. O segundo motivo é a

existência de uma plataforma LBS da Siemens em laboratório da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), o que facilita por demais os testes de validação e desempenho da ferramenta desenvolvida. Esses fatos não impedem que a mesma metodologia seja empregada em plataformas de outros fabricantes, com as devidas modificações nas linhas de código onde se fizerem necessárias. Isso é possível desde que exista acesso à documentação de sua API e à plataforma real, para que a ferramenta também possa ser validada.

O processo de desenvolvimento do simulador iniciou-se com a especificação funcional da ferramenta. Nesse momento foi produzido um documento de especificação no qual foram determinadas todas as funcionalidades do sistema real que seriam simuladas com essa ferramenta. O acesso à plataforma e à sua documentação foram fatores determinantes para a escolha das funcionalidades que seriam implementadas.

Em seguida, realizou-se um estudo acerca das tecnologias e dos modelos envolvidos nos trabalhos de simulação, de modo a determinar quais os que atendiam as reais necessidades do projeto. Todo esse estudo possibilitou o complemento do documento de especificação funcional e resultou na documentação de especificação de projeto do simulador. Nesse texto, foram determinadas: a arquitetura do software; a linguagem de programação utilizada; os modelos e diagramas de modelagem explorados; a escolha do banco de dados; e o *layout* das telas da interface gráfica.

Depois dessas duas etapas, foi a vez da codificação da ferramenta, de acordo com o documento de especificação de projeto, de modo a implementar todas as funcionalidades previamente definidas.

Finalmente, efetuaram-se os testes de aceitação da ferramenta implementada, a partir de um documento de testes, no qual encontravam-se definidos: como seriam realizados os experimentos; quais as ferramentas utilizadas; e como o simulador deveria se comportar. Todos esses dados foram, então, confrontados com os mesmos testes sendo realizados na plataforma real de laboratório, de modo a validar o simulador desenvolvido.

Nesse capítulo, tem-se interesse em explicar acerca da especificação funcional do simulador, destacando-se sua arquitetura e suas limitações em relação à plataforma de LBS real. Os detalhes de

implementação das funcionalidades, além dos testes de aceitação, são os objetivos do próximo capítulo.

5.1. Os Serviços Baseados em Localização

Serviços Baseados em Localização (LBS) possibilitam o uso de ferramentas que exploram o conhecimento de onde o dispositivo móvel está localizado. Quando existe a referência a dispositivo móvel, pode-se querer dizer uma pessoa, um carro, um navio, um trem ou um ônibus, por exemplo. Isso significa que o dispositivo está associado a uma pessoa ou a um meio de transporte que seja interessante ser localizado.

A convergência de redes computacionais, telecomunicações móveis e tecnologias de posicionamento proporcionou o impulso necessário para o surgimento dessa nova classe de aplicações e serviços chamada de LBS. Inicialmente, muitas definições para LBS existiam, devido às diversas faixas de serviços que foram propostas. Depois de algumas discussões, foi estabelecido o conceito de Serviços de Localização, os quais seriam aqueles que disponibilizariam informações acerca da posição geográfica de um dispositivo móvel de telecomunicações. Isso inclui telefones móveis, computadores de mão e dispositivos anexados a elementos móveis, como pessoas, pacotes e veículos. Já os Serviços Baseados em Localização disponibilizariam aplicações para os usuários finais, baseadas nos Serviços de Localização.

Assim, LBS está focado na geografia e no senso de localização para os usuários móveis. Os aplicativos de LBS estão lentamente penetrando no dia-a-dia dos usuários, através de serviços como mapeamento de rotas de trânsito e localização de lojas vizinhas às suas atuais localizações. A integração das tecnologias de redes computacionais, de posicionamento e telecomunicações móveis, atualmente, encontra-se em um estágio bem estabelecido e certamente continuará seu desenvolvimento. Por conseguinte, os serviços baseados em localização também tendem a evoluir.

Os serviços baseados em localização e seus detalhes de implementação estão definidos em um conjunto de documentos publicados pelo Instituto Europeu de Normas para Telecomunicações (*European Telecommunications Standards Institute* – ETSI) [44] e 3GPP [45]. Essas recomendações regem as diretivas principais para as redes de segunda e terceira gerações de telefonia móvel. 3GPP é uma sigla inglesa de *3rd Generation Partnership Project*, um projeto de cooperação entre importantes entidades padronizadoras do setor de telecomunicações mundial. Essa organização tem o papel de definir especificações globais para a terceira geração de telefonia móvel. Fazem parte desse consórcio a ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [5], ARIB/TTC (*Association of Radio Industries and Businesses / Telecommunication Technology Comitee* – Japão) [46], CCSA (*China Communications Standards Association* – China), ATIS (*Alliance for Telecommunications Industry Solutions* – América do Norte) [47] e TTA (*Telecommunications Technologies Association* – Coréia do Sul) [48].

Uma das normas que serviu de diretriz para os serviços de localização foi a *ETSI TS 101 724* “*LCS – Functional Description (Stage 2) GSM 03.71*”. Essa norma regula a disponibilização de serviços de localização para redes GSM, GPRS e a futura UMTS. Na seção 2.6, é apresentada a arquitetura de uma rede GSM. A Figura 5-1 apresenta uma visão geral da arquitetura dessa rede, agora com suporte a localização, segundo a referida norma. Nela pode ser observado que alguns novos elementos foram adicionados às redes dos operadores, para proporcionar os serviços de localização. Os novos elementos são:

- **SMLC**: o Centro Servidor de Localização Móvel (*Serving Mobile Location Center*) é um equipamento que gerencia a utilização dos recursos da rede móvel (*Public Land Mobile Network* – PLMN) necessários aos serviços de localização de estações móveis. Para tecnologias de posicionamento que utilizam LMUs durante o cálculo da posição (por exemplo, TOA, seção 4.2.2), o SMLC controla o número de LMUs necessárias para obtenção das medidas de rádio requeridas para o processo matemático. É papel do SMLC determinar quantos e quais recursos são necessários para alcançar os níveis de precisão estabelecidos pela qualidade de serviço do sistema;

De acordo com ETSI TS 101 724 “LCS – Functional Description (Stage 2) GSM 03.71”

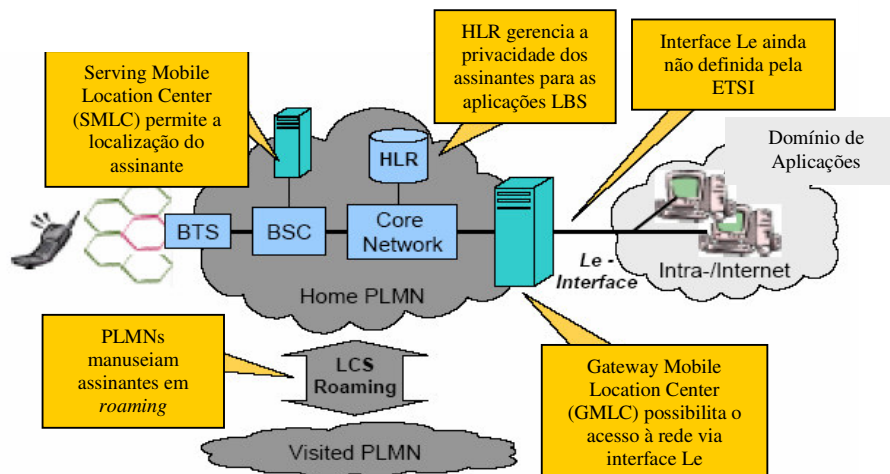


Figura 5-1: Arquitetura “clássica” de uma rede móvel com serviços de localização (*Location Services – LCS*) – (traduzido de [49])

- **LMU**: as unidades de Medidas de Localização (*Location Measurement Unit*), não apresentadas na figura, tomam medidas de rádio necessárias à informação de localização através de diferentes métodos. Esses dados são informados ao SMLC e podem se referir a apenas uma estação móvel ou a várias estações em uma certa área;
- **GMLC**: o *Gateway Mobile Location Center* é o equipamento que trabalha como interface externa para que equipamentos remotos tenham acesso ao serviço de localização provido pela PLMN. É o equipamento que está diretamente ligado à base de dados do operador e se comunica com os demais componentes da rede para solicitar a localização do usuário.

A Solução Siemens para os serviços de localização divide a funcionalidade do GMLC em dois equipamentos: um Servidor de Localização (GMLC/*Location Server – LS*) – também chamado de Plataforma de Localização – e um Servidor Habilitador de Localização (*Location Enabling Server – LES*). Isso é ilustrado na Figura 5-2. O servidor de localização tem o papel de servir de interface entre o núcleo da rede PLMN (tipicamente um rede SS7) e os clientes (rede IP).

Arquitetura Melhorada com o LES

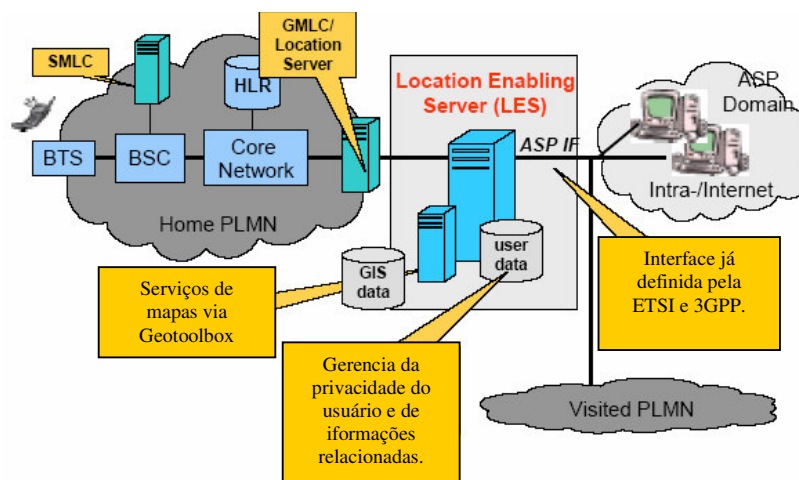


Figura 5-2: Arquitetura “moderna” de uma rede móvel com serviços de localização (*Location Services – LCS*) – (extraído de [49])

Dentre algumas comparações que podem ser feitas entre a arquitetura “clássica” e a arquitetura “moderna”, principalmente com referência ao LES, estão:

- o LES gerencia a privacidade do usuário, sendo possível informar a esse último que um processo de localização está sendo inicializado. Assim, o usuário pode, ou não, concordar e autorizar a operação;
- o LES é um elemento bem mais atrativo aos provedores de aplicações e serviços, pelo fato de apresentar interfaces de programação mais acessíveis; e
- o LES possibilita o acesso à funcionalidades de mapeamento, também através de uma interface de programação (*application programming interfaces – API*);

O LES é o elemento da solução Siemens que possibilita que aplicações externas obtenham acesso às facilidades de serviços de localização de uma rede GSM. Dessa maneira, trabalha como interface entre as aplicações e a rede da operadora, provendo a informação de localização a partir de requisições externas.

5.2. O Servidor Habilitador de Localização – LES

As atividades relacionadas com o simulador atravessaram algumas etapas bem definidas durante o processo de desenvolvimento. Após a especificação da funcionalidade e o estudo das tecnologias e dos modelos que poderiam ser utilizados no desenvolvimento, iniciou-se uma fase de análise da plataforma de LBS da Siemens. Nessa análise, foi definido que o sistema a ser desenvolvido necessitaria apenas da simulação de funcionalidades de um único elemento do sistema real: o Servidor Habilitador de Localização – LES. Isso seria suficiente para atingir os objetivos propostos, que seria o de receber as requisições de localização e responder às aplicações externas.

O LES é um componente projetado para auxiliar os operadores de rede e provedores de serviços e/ou aplicações na obtenção de informações de localização de um usuário móvel. É um elemento de hardware que possibilita: o rápido desenvolvimento e introdução de aplicações; novos modelos de negócios para provedores de serviços de aplicação; e, fácil integração de aplicações internas à infra-estrutura das redes dos operadores [50]. Em outras palavras, trata-se de uma interface de hardware, capaz de permitir a troca de informações entre o servidor de localização (LS), interna à rede da operadora, e uma aplicação externa. Se alguma aplicação externa deseja a informação de onde está um determinado dispositivo móvel, essa solicitação deve ser encaminhada diretamente ao LES. Esse, por sua vez, recebe a requisição e envia para que a plataforma de localização obtenha a resposta desejada. Essa plataforma possui a capacidade de se comunicar diretamente com o núcleo da rede da operadora, e assim, com os equipamentos da rede móvel responsáveis por armazenar a posição do dispositivo nas células. O LES consegue obter a localização do dispositivo desejado a partir das informações dos demais elementos da rede e do tratamento dessas informações em seus algoritmos internos. Além disso, ao receber essa resposta, o LES manipula a informação, de modo a oferecer para a aplicação externa requerente uma mensagem contendo suas coordenadas geográficas.

Para permitir a comunicação com as várias entidades componentes dos serviços de localização, o LES possui um conjunto de interfaces de programação. Essas interfaces possuem uma

documentação [50] bem estruturada e definida pela *Open Mobile Alliance* – OMA [43]. Trata-se de uma organização que provém especificações consistentes de interfaces de programação (APIs) abertas para o desenvolvimento de aplicações. Essas APIs proporcionam às aplicações todo um protocolo de comunicação que iniciam os procedimentos internos capazes de realizar as tarefas complexas inerentes aos diferentes serviços existentes nas plataformas de localização e demais componentes do sistema de LBS.

5.2.1. As APIs do LES

O LES apresenta uma série de APIs e, em cada uma, existe uma série de procedimentos e abordagens relacionados com as informações de localização. Ao todo são 7 (sete) APIs, que são apresentadas na Figura 5-3:

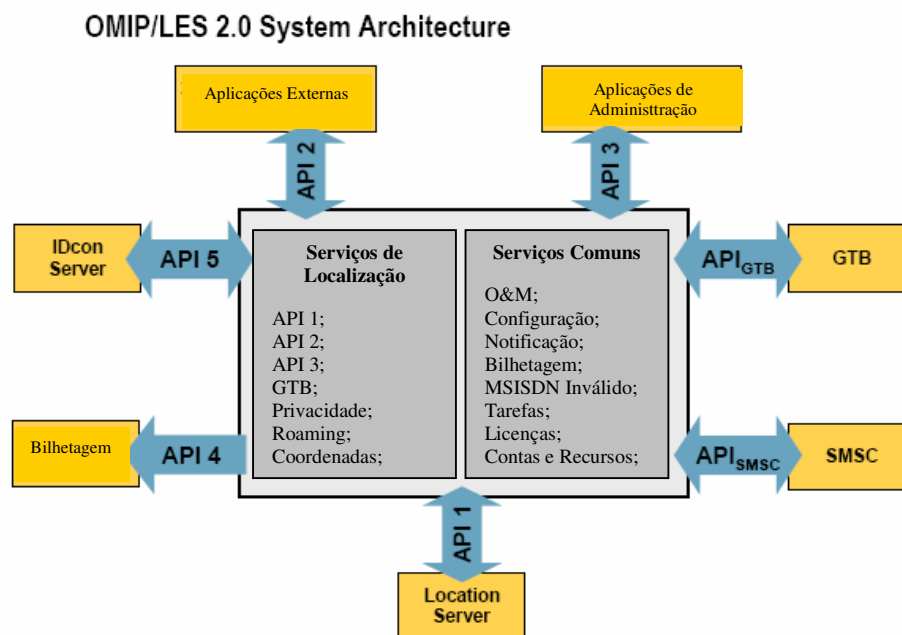


Figura 5-3: Arquitetura de APIs do LES – (extraído de [49])

O LES proporciona duas classes de serviços distintas: serviços de localização e serviços comuns. Os serviços de localização são compostos pela manipulação de mensagens das APIs 1, 2, 3 e GTB (*GeoToolBox*). Além disso, engloba os serviços de gerenciamento de privacidade e *roaming* e a manipulação de coordenadas. Já os serviços comuns estão relacionados com: operação e manutenção do sistema (O&M); gerenciamento de configuração; manipulação de notificações; bilhetagem; manipulação de MSISDN (*Mobile Station International Subscriber Directory Number*) inválido; gerenciamento de tarefas; gerenciamento de licenças; e gerenciamento de contas e recursos.

O propósito da API 1 é definir um método de acesso simples e seguro que permita ao LES se comunicar com a plataforma de localização. Isso possibilita que aplicações externas obtenham informações de localização de um dispositivo em uma rede de telecomunicações móveis. Tal informação é independente das tecnologias empregadas na interface de rádio (redes GSM, ou CDMA, por exemplo) ou das tecnologias de posicionamento empregadas (seção 4.2).

A API 2 é definida como o ponto de acesso para o chamado “mundo Internet” (isto é, aplicações externas de terceiros) se comunicar com o servidor de localização. Ela é baseada nos mesmos princípios da API 1, porém possui um conjunto de parâmetros e uma funcionalidade mais ricas. Essa API possui vários níveis de funcionalidade, permitindo que os desenvolvedores construam suas aplicações utilizando mais ou menos recursos do LES, de acordo com sua finalidade. Isso permite ao operador tarifar diferentemente cada um dos serviços utilizados pelos parceiros. Esses serviços estão divididos em seis categorias:

- serviços básicos de localização: englobam os serviços que oferecem como resposta apenas as informações de latitude e longitude do dispositivo móvel;
- serviços avançados de localização: englobam os serviços que complementam os serviços avançados, informando pontos de referências conhecidos do sistema, como nomes de rua, nomes de edificações ou outros pontos de referência;
- serviços de geo-codificação: englobam os serviços que são capazes de localizar o dispositivo e apresentar um endereço detalhado;

- serviços de navegação e rota: englobam os serviços que possibilitam a localização de um determinado dispositivo móvel e qual a rota percorrida pelo mesmo, durante um intervalo de tempo pré-definido;
- serviço de busca: englobam os serviços de localização de um determinado ponto de interesse nos arredores da atual posição de um dispositivo móvel, informando a distância e a direção;
- serviço de mapas: englobam os serviços que permitem visualização da localização de um dispositivo móvel em um mapa geo-referenciado.

Já a API 3 é a interface responsável pelo gerenciamento das informações que dizem respeito aos clientes e servidores de localização que estão habilitados. Para que uma aplicação externa consiga realizar uma solicitação de localização de um dispositivo em uma rede, deve existir um registro (*profile*) com as informações desse cliente. Só assim esse cliente fica autorizado a utilizar os serviços do LES. Além disso, um *profile* com informações dos servidores habilitados também deve ficar armazenado. Da mesma maneira que a API 2, as mensagens trocadas entre a API 3 e a aplicação de gerência se dão através de XML, via protocolo HTTP[34].

A API 4 trata dos procedimentos necessários para a bilhetagem dos serviços de cada cliente. A bilhetagem é o processo em que a operadora obtém um extrato de utilização dos serviços da plataforma pelo cliente. Dessa forma, é facultada à operadora a cobrança pelo serviço utilizado.

A API 5 é uma interface que conecta o LES com um servidor de conversão de identificação (*ID Conversion Server – IDCon Server*). Esse servidor é capaz de transformar um dado identificador anônimo em um número ISDN (*Mobile Station International Subscriber Directory Number – MSISDN*) válido na rede.

A API *GeoToolBox* (API GTB) tem o propósito de satisfazer qualquer tipo de serviço de localização avançada da API 2 do LES. Ela é exclusivamente utilizada pelo LES para combinar perfeitamente o serviço de geoinformação provido pelo *GeoToolBox* [51], a capacidade do LES e a informação do servidor de localização no intuito de simplificar o acesso do provedor de serviço à informação de localização e a geoinformação pela mesma API. Uma particularidade dessa API é que, nenhuma aplicação que utiliza a API 2 pode utilizar a API *GeoToolBox*. Essa API é projetada apenas

como uma interface interna e, assim, não está disponível para o “mundo exterior”, isto é, não há acesso diretamente a ela pelas aplicações externas.

Já a API SMSC (*Short Message Service Center*) é responsável por interconectar o LES com um equipamento de gerenciamento de mensagens de texto SMS: o centro de serviço de mensagens instantâneas (*Short Message Service Center – SMSC*). Essa comunicação é necessária, pois alguns serviços do LES necessitam de uma confirmação do usuário do dispositivo móvel, quanto à permissão da disponibilização de sua localização, por exemplo.

Para alcançar o principal objetivo inicialmente proposto (desenvolver um simulador para validar os aplicativos baseados em localização), verificou-se que apenas a simulação da API 2 deveria ser implementada. Essa API é responsável pela comunicação das aplicações externas com o LES. Dessa maneira, o simulador estará cumprindo exatamente com seu propósito, ao possibilitar a troca de informações a partir de requisições especificadas pela documentação [50].

Mais do que isso: determinou-se, por fim, que o simulador ficaria restrito ao tratamento de requisições dos serviços básicos de localização. Assim, deveria apenas fornecer a informação das coordenadas geográficas, através do par latitude / longitude, como resposta às requisições das aplicações externas. Essas coordenadas são disponibilizadas em elementos subdivididos em graus, minutos e segundos.

5.3. A arquitetura proposta

O propósito principal do simulador é fornecer uma ferramenta de validação para o desenvolvimento de aplicativos. Com isso, não haverá a necessidade dos desenvolvedores possuírem uma plataforma LBS real em suas instalações. Isso pode ser alcançado através da simulação do serviço básico do sistema LBS.

Durante a especificação das funcionalidades do simulador, foi observado que o sistema a ser desenvolvido necessitaria apenas da simulação de funcionalidades de um único elemento do sistema real da Siemens: o Servidor Habilitador de Localização (LES). Portanto, esse trabalho trata da concepção de um simulador que é capaz de prover a informação da localização geográfica do dispositivo simulado, a partir de seu par de coordenadas Latitude / Longitude. Essa localização é calculada a partir de alguns algoritmos de programação associados a algumas informações inseridas, previamente, em uma base de dados, pelo desenvolvedor.

A partir da definição de que o trabalho está focado no LES, houve a realização de uma pesquisa sobre as interfaces de programação disponibilizadas por esse elemento. O estudo dessa documentação determinou a abrangência do simulador em relação à plataforma real existente em laboratório, discriminando suas funcionalidades e mais algumas limitações. Dessa maneira, o desenvolvimento estaria focado apenas na API 2, que trata da comunicação entre o LES e as aplicações externas.

Na Figura 5-4, tem-se uma visão geral sobre o funcionamento do simulador. Para ser fiel ao sistema real, o simulador é capaz de aceitar requisições de aplicações remotas. Dessa forma, ele deve possibilitar que todas as conexões externas com as aplicações sejam efetuadas através de uma interface WEB.

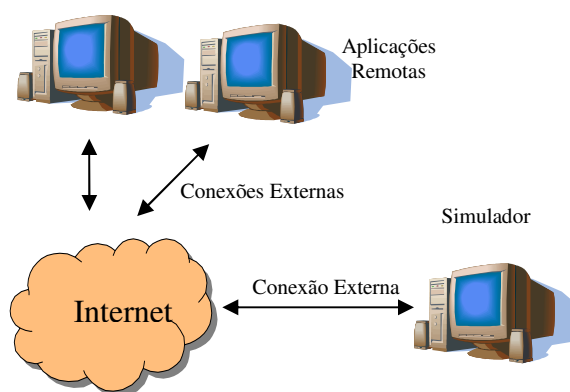


Figura 5-4: Visão Geral do Funcionamento do Simulador

Assim, o sistema desenvolvido é um aplicativo que funciona em um cenário cliente-servidor, tendo o papel de servidor. Já as aplicações remotas de LBS, que necessitam da informação de

localização do dispositivo móvel para executar alguma tarefa específica, devem estar conectadas, via Internet, ao simulador, no papel de clientes. Isso é necessário para que o simulador comunique-se com essas aplicações através de um protocolo bem definido pela documentação [50].

O Servidor Habilitador de Localização (LES) tem a capacidade de se comunicar com as aplicações externas através da troca de mensagens (requisições e respostas) em XML (*eXtensible Markup Language*)[34], disponibilizando a localização dos dispositivos móveis de interesse. XML é uma linguagem de marcação capaz de descrever diversos tipos de dados. Seu propósito principal é a facilidade de compartilhamento de informações através da Internet. Dessa forma, o simulador também deve ser capaz de manusear mensagens em XML, interpretando a requisição e respondendo para a aplicação externa requisitante.

A formalização da arquitetura do simulador se deu após o estudo da documentação da API 2. Comparando as funcionalidades determinadas nos estágios iniciais de desenvolvimento e as informações da API, verificou-se que o aplicativo deveria ser composto por três módulos distintos. Essa arquitetura atende aos requisitos do projeto: uma interface com o usuário (interface de gerenciamento); um núcleo do sistema [interface externa HTTP/HTTPS (*Web*)]; e um elemento de armazenamento de parâmetros (base de dados). Cada um desses módulos pode ser visualizado na Figura 5-5, no diagrama em blocos do simulador do LES.

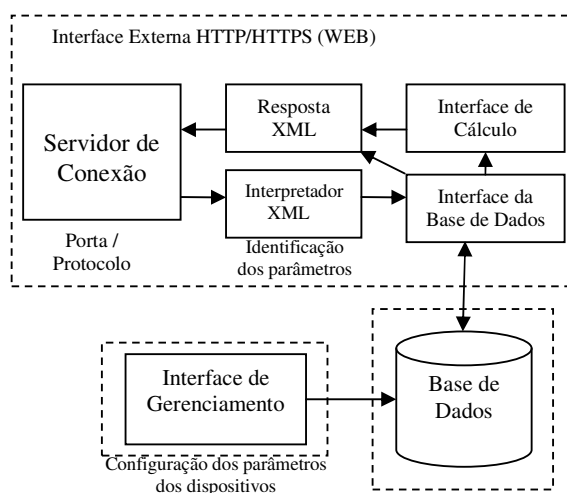


Figura 5-5: Diagrama em Blocos do Simulador do LES

Uma outra questão que foi especificada durante a formalização da arquitetura, diz respeito à linguagem de programação e ao ambiente de uso do simulador. Visando possibilitar seu emprego nos mais diferentes plataformas e utilizar uma linguagem robusta, segura, eficiente e que possui uma vasta biblioteca de funções, ficou determinado que todo o desenvolvimento do projeto seria baseado na linguagem Java 2 SE [24]. Observando a arquitetura proposta e verificando as necessidades do simulador, algumas das bibliotecas existentes na linguagem Java já se apresentavam necessárias ao projeto. São elas:

- classe *java.net.ServerSocket* – para os servidores de conexão (HTTPS e HTTP);
- classes de *Threads* – para os processos que irão executar em segundo plano;
- classe *org.xml.sax.helpers.DefaultHandler* – para a interpretação das requisições XML;
- classe *java.sql.ResultSet*, *java.sql.Connection* – para a conectividade com o banco de dados;

5.3.1. Interface de Gerenciamento

A interface de gerenciamento é o elemento pelo qual o usuário interage com o simulador. Sua principal função é gerenciar o funcionamento do simulador a partir de informações que serão armazenadas em um segundo módulo (base de dados) e utilizadas para simular a localização dos dispositivos móveis. Trata-se de uma interface gráfica (*Graphical User Interface* – GUI) que é apresentada aos usuários, a partir da qual os mesmos poderão configurar essas informações necessárias para simular a funcionalidade de posicionamento do simulador. Após a finalização das operações, os dados disponibilizados são armazenados em uma base de dados e, posteriormente, serão usados para simular o deslocamento dos dispositivos em uma área delimitada. Essa interface apresenta uma tela inicial onde podem ser escolhidas três opções distintas: *Register*, *Edit*, e *labels* (Figura 5-6). Nesses campos é possível, respectivamente:

- inserir as informações de registro do dispositivo móvel;

- editar as informações dos parâmetros dos dispositivos inseridos; e
- configurar atalhos (*labels*) para alguns pontos estratégicos, os quais servem de ajuda para simplificar a configuração das rotas dos dispositivos.

Cada um desses campos direciona o desenvolvedor para telas posteriores, onde podem ser inseridas ou editadas as informações necessárias. Todas as telas do simulador apresentam-se no idioma inglês. Isso se justifica pelo fato do simulador empregar uma documentação aberta [43], além desse idioma ser utilizado globalmente para o desenvolvimento de aplicativos de software.

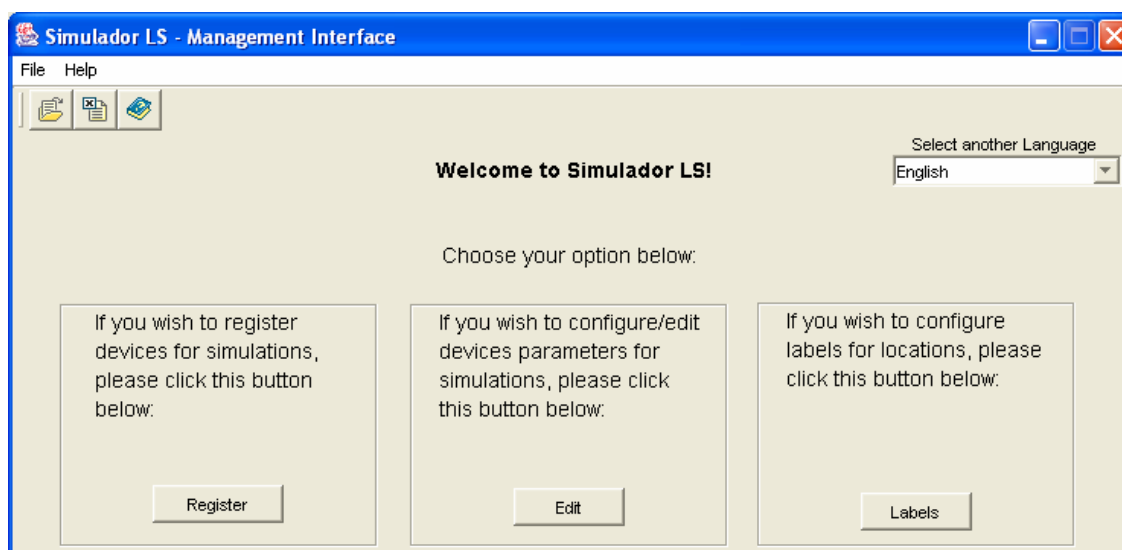


Figura 5-6: Tela Inicial da Interface de Gerenciamento

Para a operação de registro de dispositivos móveis, o aplicativo necessita da informação de três grupos de parâmetros distintos:

- identificação dos dispositivos móveis: cada um dos dispositivos móveis que serão simulados pelo sistema possui uma identificação. Essa etiqueta corresponde a um número ISDN (MSISDN) e é capaz de identificar unicamente o dispositivo desejado dentre todos os demais existentes no sistema;
- pontos de sua rota: por se tratar de uma simulação de uma rede de dispositivos móveis, existe a necessidade de se precisar onde cada um desses dispositivos irá transitar. Sendo possível determinar uma rota pré-estabelecida para cada elemento, a partir de pontos de referência; e

- parâmetros de deslocamento: como o dispositivo simulado deve se comportar é uma questão relevante para o projeto. Os parâmetros de deslocamento serão responsáveis por identificar o tempo e/ou a velocidade em que o móvel está percorrendo a sua rota pré-definida.

A operação de registro de dispositivos móveis encontra-se dividida em duas categorias, nas quais esses grupos de parâmetros são solicitados de maneira distinta. A primeira categoria refere-se ao registro individual de dispositivos móveis, enquanto que a segunda refere-se ao registro de múltiplos dispositivos móveis.

The screenshot shows the 'Simulador LS - Register' window. It is divided into two main sections by red brackets on the left side.

Configuração individual de dispositivos:

- Insert MSISDN: 558188023456
- Start Position: Latitude (ddmmssD): 101010N, Longitude (dddmmssD): 1001010W
- Start Time: 17:33:54
- Privacy: Disabled
- Precision: 3
- Legend: d - Degrees, m - Minutes, s - Seconds, D - Direction (N, S, E, W), h - Hour

Configuração de múltiplos dispositivos:

- MSISDN Digits amount: []
- Prefix: []
- Devices Quantity: []
- Point A: Latitude (ddmmssD): [], Longitude (dddmmssD): []
- Point B: Latitude (ddmmssD): [], Longitude (dddmmssD): []
- Max. Velocity: 400 Km/h
- Min. Velocity: 20 Km/h

Figura 5-7: Tela de Registro de Dispositivos

A Figura 5-7 ilustra a tela de registro de dispositivos. Na área que se refere à configuração individual de dispositivos, para cada dispositivo, seus parâmetros devem ser inseridos manualmente

pelo usuário. Essa operação também é conhecida como “Registro Simples”. A informação de privacidade (*Privacy*) simula a situação em que um usuário não deseja que a sua localização seja disponibilizada. Já o campo de precisão (*Precision*) determina o número de casas decimais em que as coordenadas de resposta serão apresentadas.

Na segunda área, referente ao registro simultâneo de vários dispositivos, alguns campos são solicitados para servir de referência durante a determinação das informações dos grupos de parâmetros, automaticamente, pelo sistema. Nessa área é possível determinar: a quantidade de dispositivos desejada; um prefixo de MSISDN comum ao grupo; uma área de interesse (delimitados por coordenadas geográficas de dois extremos de um quadrado); e as possíveis velocidades máximas e mínimas permitidas aos dispositivos.

Automaticamente, para a opção de criação de múltiplos dispositivos móveis na área de interesse, uma rota é estabelecida para cada um. No que diz respeito aos dispositivos que forem criados individualmente, o sistema inicialmente os considera estáticos e situados em sua posição inicial. Para que esses dispositivos possuam rotas, essas informações devem ser passadas a partir da opção *edit*, na tela inicial. A Figura 5-8 apresenta essa tela de edição de parâmetros. Nela é solicitado o MSISDN do dispositivo de interesse.

Identificação do Dispositivo

MSISDN: 876543210

Privacy: Disabled Enabled Precision: 0 Path Route? None No Recursive Recursive

Clear Rote

Displacement 5 | Displacement 6 | Displacement 7 | Displacement 8 | Displacement 9 | Displacement 10
 Displacement 1 | Displacement 2 | Displacement 3 | Displacement 4

Start Position: End Position: Start Time:

Latitude (ddmmssD): 024917N Latitude (ddmmssD): 213400S (hh:mm:ss): 01:00:00

Longitude (dddmmssD): 0603945W Longitude (dddmmssD): 213400S Displacement Parameter: 300 Velocity (Km/h) End Time (hh:mm:ss)

Labels: Labels: Accept?

Save Cancel

Informação da Rota.

Figura 5-8: Edição de parâmetros do dispositivo

Após apresentar a identificação, uma pesquisa (*search*) pode ser realizada na base de dados em busca das informações pertinentes. Isso significa que uma edição de parâmetros só pode ser realizada individualmente para cada dispositivo, independente de como o mesmo foi registrado (registro simples ou múltiplo).

A partir da busca na base de dados, as informações da rota podem ser inseridas ou alteradas. Nessa mesma tela também podem ser alteradas e/ou conferidas outras informações referentes a qualquer dispositivo cadastrado. Essas outras informações [características de rota (*Path Route*), precisão (*Precision*) e privacidade (*Privacy*)] serão detalhadas nas seções 6.2.3, 6.2.5, 6.2.6, respectivamente, onde serão apresentadas suas implementações.

Na Figura 5-9, pode ser visto o fluxograma de armazenamento das configurações do dispositivo móvel, incluindo a informação da rota de deslocamento, através da tela de edição das informações. Esse fluxograma é seguido pelo usuário quando deseja configurar as informações de deslocamento do dispositivo móvel.

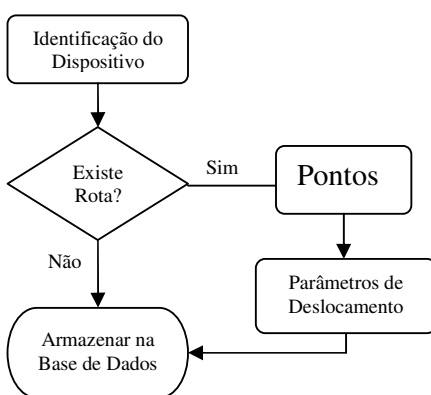


Figura 5-9: Fluxograma de Configuração Simples

A partir da identificação do dispositivo e da busca dos dados armazenados, o usuário deve informar se o mesmo está em deslocamento ou parado. Isso é informado a partir do campo *Path Route*, que possui três opções: *None* (nenhuma rota existe); *No Recursive* (rota existente é não recursiva); e *Recursive* (rota existente é recursiva). Caso o dispositivo esteja em deslocamento (existe rota), deve-se determinar quais os pontos que serão percorridos e, em seguida, os parâmetros de deslocamento: a velocidade ou o tempo de percurso. Todas as informações da rota e identificação do dispositivo, então serão atualizadas na base de dados. Os parâmetros serão, posteriormente, empregados nos cálculos de

determinação da posição do dispositivo. Caso o dispositivo simulado não esteja em deslocamento, a informação de que está parado, além da identificação do dispositivo, também é armazenada.

Com referência às informações das rotas de cada dispositivo, dois algoritmos foram implementados para a simulação de seu deslocamento: um para o registro individual e outro para o registro múltiplo de dispositivos.

Um cuidado observado durante a implementação desses algoritmos diz respeito aos modelos matemáticos empregados. Modelos matemáticos, quando implementados em linguagem de programação e executados em computadores, requerem métodos numéricos que impõem uma certa carga computacional ao sistema. Isso reflete diretamente na velocidade de processamento desse sistema, pois necessita de uma maior quantidade de seus recursos. Assim, a carga computacional mede a eficiência com que os algoritmos empregados no sistema respondem aos sinais externos. Utilizar algoritmos com complexidade matemática reduzida, isto é, realizando cálculos envolvendo essencialmente as operações básicas, tende a produzir uma carga computacional baixa. Com isso, o esforço computacional envolvido possibilita respostas mais rápidas, utilizando menos recursos do sistema. Dessa maneira, a adaptação dos algoritmos escolhidos foi realizada, de modo a diminuir a carga computacional dos procedimentos matemáticos envolvidos. Isso, em modo algum, afeta os objetivos do simulador, pois, para a aplicação externa, as características do deslocamento dos dispositivos simulados é um algo transparente. Para essa aplicação externa, é necessária apenas a informação da latitude e da longitude do dispositivo, no instante em que ela solicite essa informação.

Para a criação de múltiplos usuários, foi utilizada uma variação do algoritmo de modelo de mobilidade aleatória (*Random Walk*) – seção 3.5.2. Esse algoritmo originalmente possui cinco passos:

- *Passo 1*: definir uma rede simétrica, isto é, delimitar uma área de interesse na qual as partículas devem se movimentar;
- *Passo 2*: escolher uma posição inicial para a partícula de interesse. Caso se esteja trabalhando com a movimentação de mais de uma partícula, independentes entre si, é nesse instante que suas respectivas posições iniciais também são definidas. Não necessita que essa posição inicial seja a mesma para todas as partículas;

- *Passo 3:* sortear, aleatoriamente, um número que indicará a direção e o sentido do movimento. Assim, pode-se definir o grau de liberdade do movimento, indicando em que direção a partícula poderá se dirigir, atentando para sempre seguir a linha do *grid*;
- *Passo 4:* posicionar a partícula no local adjacente à sua posição atual, indicado pelo número sorteado. Dessa maneira, é finalizado o primeiro ciclo de movimento da partícula;
- *Passo 5:* repetir os mesmos passos até que a partícula encontre o final da rede simétrica.

O passo 1 do algoritmo empregado, nesse caso, toma como base as informações da área de interesse (coordenadas dos pontos A e B), apresentadas na operação de registro. A Figura 5-10(a) exemplifica essa área. Nela é observado que o ponto A está posicionado no extremo superior esquerdo e o ponto B no inferior direito. Os elementos X e Y são admitidos serem a latitude e a longitude de cada ponto, respectivamente.

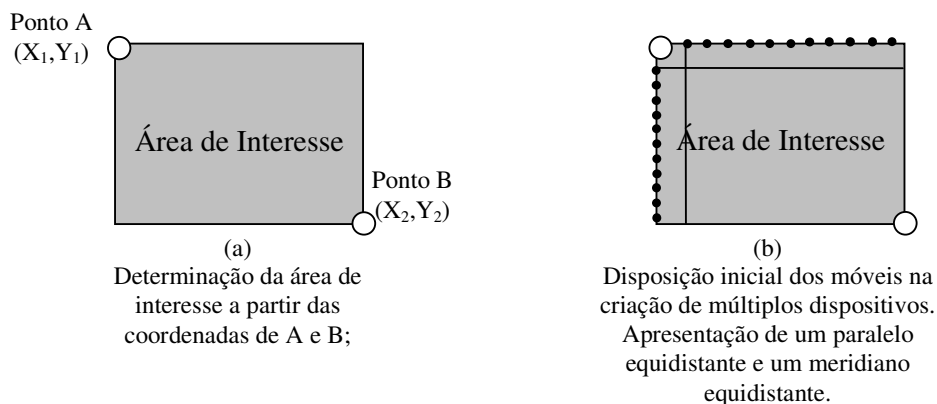


Figura 5-10: Área de Interesse.

As coordenadas da latitude e da longitude devem ser consideradas contendo as informações de grau, minuto e segundo, além da direção – norte, sul, leste ou oeste.

Já para o passo 2, o algoritmo toma a informação do meridiano mais a oeste e do paralelo mais ao norte, como as posições de referências iniciais dos dispositivos a serem criados. Inicialmente, determinou-se que uma metade desses elementos seria disposta inicialmente ao longo do paralelo de referência e a outra metade ao longo do meridiano de referência. A seguir, tomando os pontos extremos, são obtidas as distâncias entre as latitudes e entre as longitudes, para subdividir essas áreas

em coordenadas equidistantes (paralelos equidistantes e meridianos equidistantes) e assim posicionar os móveis [Figura 5-10(b)].

Já para no passo 3 do *Random Walk*, houve uma primeira alteração do algoritmo original. Para simplificar o modelo, apenas uma direção foi permitida para o móvel, restringindo seu grau de liberdade de movimento. Isso significa que o mesmo, caso esteja iniciado no meridiano mais à leste, deve percorrer uma linha assíntota a seu paralelo equidistante. Depois de posicionados os elementos, é realizado o passo 4, onde cada um deles vai obedecer a variante do modelo de mobilidade aleatória, atualizando sua posição em um período pré-determinado.

No passo 5, outra adaptação foi realizada. Ao chegar ao limite oposto da área de interesse, seu sentido é invertido. Dessa maneira, o movimento do dispositivo continua, intermitentemente, de modo a percorrer uma rota recursiva.

A cada ciclo, existe a atualização de posição do dispositivo simulado, com base em sua velocidade de deslocamento. Essa velocidade é obtida a partir dos valores informados no registro, sendo um valor aleatório entre o máximo e o mínimo apresentados. Para determinar o tempo de percurso do dispositivo, naquele ciclo, a informação de velocidade é combinada com uma distância linear entre o ponto inicial e final do percurso. Uma boa aproximação dessa distância é obtida considerando-se que a terra é uma esfera perfeita e utilizando-se a lei dos cossenos (Fórmula 5.1), mostrada a seguir.

Na Figura 5-11, apresenta-se uma situação para a obtenção da distância entre dois pontos (P_1 e P_2) dispostos na superfície da terra. A terra é representada como uma esfera, marcando o pólo norte e o equador. Os dois pontos de interesse, P_1 e P_2 , são colocados na superfície da esfera com suas respectivas coordenadas ϕ_1 e ϕ_2 sendo suas latitudes geográficas e $\Delta\lambda$ a diferença entre suas longitudes. A tarefa é encontrar o arco S unindo os dois pontos, pois uma vez conhecido este valor bastará multiplicá-lo pelo raio da terra para conseguir uma distância linear. Pela lei dos cossenos, na trigonometria esférica podemos escrever:

$$\cos(S) = \text{sen}(\phi_2)\text{sen}(\phi_1) + \cos(\phi_2)\cos(\phi_1)\cos(\Delta\lambda) \quad (\text{Fórmula 5.1})$$

Assim, é apenas necessário o conhecimento das coordenadas geográficas de dois pontos para descobrir um arco que ligue esses pontos, em radianos, e, finalmente, obter a distância linear entre esses pontos através da multiplicação desse arco pelo raio da terra.

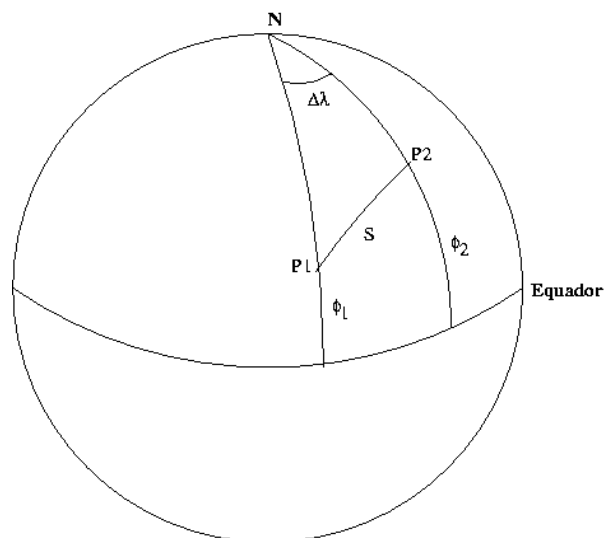


Figura 5-11: Distância entre dois pontos na superfície da terra.

Já para os dispositivos móveis criados individualmente, as informações das rotas obedecem ao segundo algoritmo, que não segue um modelo específico. Esse algoritmo prevê que uma rota possui trechos compostos de um ponto inicial e um ponto final. O ponto inicial é composto por latitude, longitude e instante inicial. O segundo ponto do trecho é configurado, inicialmente, com suas coordenadas. Para completar a configuração, um parâmetro de deslocamento deve ser informado: velocidade de deslocamento ou instante final do trecho. Dada a velocidade é possível se calcular o tempo de percurso, através de manipulação matemática simples, e vice-versa, simulando um movimento uniforme e obedecendo a sua equação de movimento:

$$s = s_0 + vt \quad (\text{Fórmula 5.2})$$

A Figura 5-12 exemplifica o deslocamento de um móvel segundo esse algoritmo, entre um ponto inicial (A) e um ponto final (F). Nesse exemplo, o percurso é subdividido em 5 trechos menores. Cada um desses trechos é caracterizado pelas informações das coordenadas dos seus pontos inicial e final, além do instante inicial e do parâmetro de deslocamento. Seguindo a equação de movimento uniforme (Fórmula 5.2), o dispositivo se desloca entre as coordenadas do início e do final do trecho,

com velocidade e tempos de deslocamento determinados pelas informações dos parâmetros de deslocamento. Ao atingir o último ponto do último trecho (no exemplo, o ponto F), o dispositivo permanecerá naquela coordenada. Isso significa que o movimento realizado pelo dispositivo simulado é não recursivo. A cada período de 24 horas, todos os dispositivos com rota recursiva são re-posicionados em seus pontos iniciais e iniciam suas respectivas rotas no momento determinado pelo instante inicial informado.

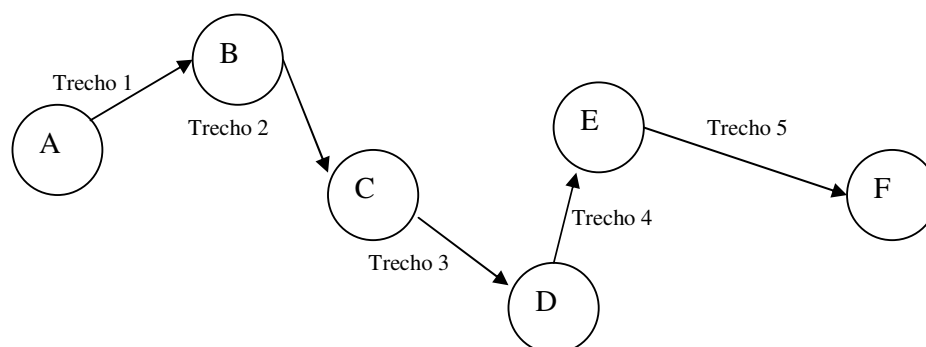


Figura 5-12: Deslocamento de um dispositivo móvel

Detalhando passo a passo o algoritmo empregado, vem:

- *Passo 1:* informação da coordenada geográfica da posição inicial do trecho;
- *Passo 2:* informação da coordenada geográfica da posição final do trecho;
- *Passo 3:* informação do instante inicial do dispositivo no trecho, isto é, instante em que inicia o movimento;
- *Passo 4:* informação do parâmetro de deslocamento (velocidade de percurso ou instante final do dispositivo no trecho);
- *Passo 5:* repetir os passos anteriores até atingir o final da rota.

Dessa maneira, a interface de gerenciamento é responsável por introduzir os dados informados pelo usuário na base de dados. O núcleo do sistema (a Interface externa HTTP/HTTPS) possui os elementos que são responsáveis pelos cálculos de deslocamento das partículas móveis, bem como o tratamento das requisições XML.

5.3.2. Interface externa HTTP/HTTPS (WEB)

Para manter as características do LES, o simulador também deve suportar o acesso de aplicações externas, que atuam como requerentes das posições dos dispositivos móveis. No intuito de realizar essa comunicação com as aplicações remotas, uma interface foi idealizada para o simulador e desenvolvida para possibilitar esse acesso através da Internet: a interface externa HTTP/HTTPS (Figura 5-5). Essa interface, também chamada de interface WEB, proporciona ao simulador o recebimento de requisições e o envio de respostas às solicitações através do padrão XML, da mesma maneira que o LES. O LES tem a capacidade de se comunicar com as aplicações externas via dois protocolos: HTTP e HTTPS [34]. Eles fazem parte da larga coleção de protocolos de comunicação do protocolo TCP/IP. O TCP (*Transmission Control Protocol*) [52] é um protocolo utilizado para a transmissão de dados entre uma aplicação e uma rede. Ele é responsável por subdividir o dado a ser transmitido em pacotes IP (*Internet Protocol*), antes de seu envio, e pelo reagrupamento após sua chegada. É o protocolo IP que cuida da comunicação entre computadores em uma rede, sendo responsável por enviar e receber pacotes de dados via Internet.

O HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) foi originalmente idealizado como um protocolo que cuida da comunicação entre um servidor da rede e um navegador do usuário. Seu mecanismo de operação tem como característica o envio de requisições, a partir de um cliente, para um servidor. Esse servidor, ao receber essa solicitação, retorna ao cliente a informação desejada. Geralmente essa informação é uma página web. No simulador, a informação que trafega é um documento XML (*eXtensible Markup Language* – Linguagem de Marcação Extensível) [34]. Semelhantemente ao HTML (*Hyper Text Markup Language*) [34], o XML é uma linguagem de marcação, isto é, utiliza marcadores (*tags*) para informar ao navegador como o texto deve ser apresentado. Uma primeira diferença que surge entre o HTML e o XML é que o primeiro possui um conjunto pré-definido de marcadores. Já o segundo, possibilita que os marcadores sejam personalizados, de acordo com as necessidades e a facilidade de interpretação do código. Uma linguagem não sobrepõe a outra, pois

foram desenvolvidas para tarefas distintas: enquanto o XML foi projetado para descrever o dado e focar na natureza do dado; o HTML foi projetado para mostrar o dado e focar no que o dado parece. Assim, optou-se por utilizar XML em toda comunicação com a plataforma real por ser um padrão especificado para tornar simples a troca de documentos estruturados através da Internet.

Por sua vez, o HTTPS (*Secure HTTP*) é um protocolo que cuida da comunicação entre o cliente e o servidor em um modo seguro. Ele proporciona uma comunicação de dados mais segura, com o emprego de ferramentas como a criptografia, para o envio de informações sigilosas.

O Simulador desenvolvido trabalha com esses mesmos protocolos. Uma especificação técnica do sistema abrange a relação entre o protocolo empregado e a porta de comunicação utilizada para a troca de informações entre o cliente e o servidor. Caso a requisição seja através de tráfego HTTP, a aplicação externa deverá se conectar ao simulador através da porta TCP 717; caso seja através do tráfego HTTPS, deve utilizar a porta TCP 716. A qualquer momento, o simulador pode receber uma requisição XML, em qualquer porta, para identificar um ou mais dispositivos configurados (ou dispositivos simulados), apresentando sua posição geográfica simulada em função do par latitude/longitude.

Na Figura 5-13 pode ser vista a seqüência prevista de requisições e respostas entre o simulador e as aplicações remotas, que desejam solicitar alguma informação acerca da localização de um determinado dispositivo. Todas essas conexões externas são realizadas através da interface WEB do simulador. Nesse procedimento, a aplicação remota inicialmente solicita o estabelecimento de uma conexão com o simulador (1). Após receber a resposta que a conexão foi aceita (2), essa aplicação remota está apta a enviar a requisição XML de localização de dispositivo (3). Ao receber essa requisição, o simulador interpreta a solicitação; busca as informações necessárias na base de dados; efetua os cálculos necessários; e, retorna a resposta para o solicitante. (4).

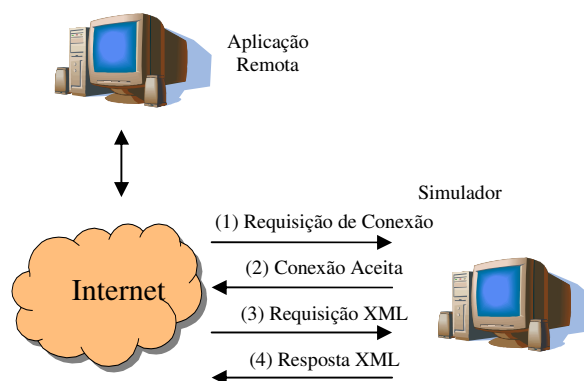


Figura 5-13: Seqüência de comunicação entre um aplicação remota e o simulador

Na Figura 5-5, também pode ser observado que o mecanismo de troca de mensagens XML é inicializado com o recebimento das requisições no servidor de conexão e finalizado com a entrega da resposta, também em XML, no mesmo servidor de conexão, respectivamente as etapas (3) e (4) da Figura 5-13. A direção das setas, na Figura 5-5, percorre a seqüência de sub módulos que uma requisição de localização pode passar, desde sua interpretação até a montagem da resposta XML e seu posterior envio ao requerente. A interface web é composta por cinco sub-módulos que executam funções que se complementam. São eles:

- servidor de conexão: módulo responsável por servir de interface entre o simulador e as aplicações externas. É responsável pela fiscalização das portas de comunicação e pelo tratamento das requisições HTTP/HTTPS que chegam das (ou saem do simulador para as) aplicações remotas;
- interpretador XML: módulo responsável por ler e interpretar a solicitação recebida pelo servidor de conexão. É esse elemento que identifica qual a natureza da localização e qual o dispositivo (ou conjunto de dispositivos) que devem ser localizados;
- interface da Base de Dados: como o próprio nome sugere, esse módulo é o responsável por servir de comunicação com a base de dados, para a busca das informações referentes aos dispositivo a ser localizado;
- interface de cálculo: a partir das informações obtidas na base de dados, alguns parâmetros devem ser calculados para informar a localização do dispositivo de interesse. Além disso, a

cada ciclo de interação, a atualização da localização dos dispositivos que estão utilizando o modelo de random walk é calculada nessa interface; e

- resposta XML: esse módulo é o responsável por montar o documento XML que servirá como resposta para as aplicações remotas, apresentando a localização do dispositivo de interesse, em função de seu par de coordenadas latitude / longitude.

Esse módulo recebeu a tarja de “núcleo” do simulador por concentrar as tarefas automatizadas que a ferramenta possui. Os detalhes de implementação de cada sub-módulo, bem como as variáveis manipuladas e os resultados obtidos, encontram-se apresentados no próximo capítulo.

5.3.3. Base de Dados

Devido à necessidade de armazenamento de todo o conjunto de configuração dos dispositivos que serão simulados, o simulador deve operar em conjunto com uma base de dados. Para a comunicação entre a aplicação e a base de dados, é necessário um *driver* JDBC (*Java DataBase Connectivity*), para tratar as cláusulas SQL e transformá-las em que o sistema de gerenciamento de bases de dados (SGBD) entenda. O JDBC corresponde a uma API, de forma que cada fabricante de gerenciadores de bases de dados desenvolve um *driver* JDBC para que seu produto possa ser utilizado em conjunto com a linguagem Java. A utilização do JDBC torna o sistema independente da base de dados, podendo-se alterar o programa de interface sem que isso interfira no acesso aos dados. Pode-se, até mesmo, implantar uma outra base de dados, gerenciada por um SGBD diferente, utilizando o mesmo programa de interface, desde que se tenha o *driver* JDBC para esse outro SGBD. Os sistemas gerenciadores de banco de dados empregados no simulador são: o MySQL 4.0.17 [53] ou o PostgreSQL 7.0 [54]. Essa escolha se deu após um período de testes de desempenho e avaliação de custos de várias alternativas para o projeto. Nesses testes, as opções escolhidas apresentaram-se satisfatórias às necessidades técnicas do sistema, por várias características. Dentre essas

características, para o MySQL, podem ser destacadas: o funcionamento em diversas plataformas; e o suporte a 50.000.000 registros ou 60.000 tabelas e aproximadamente 5.000.000.000 de linhas [53]. Além disso, atendem as necessidades de custo dos desenvolvedores, por se tratarem de versões de servidores de banco de dados gratuitos. Para se comunicar com a base de dados, os SGBD empregados utilizaram as bibliotecas *mysql-connector-java-3.0.9-stable.jar*, para o MySQL, e *jdbc7.0-1.1.jar*, para o PostgreSQL.

O banco de dados desta aplicação tem a estrutura composta de três tabelas, denominadas: *Main*, *Route* e *Location*.

A tabela *Main* é utilizada para armazenar as informações estáticas de simulação. Nessa tabela o simulador insere a identificação do dispositivo móvel que está sendo simulado (*MSISDN - Mobile Station International Subscriber Directory Number*), e alguns parâmetros de simulação do dispositivo, como a indicação de dispositivo parado ou “percorrendo” uma rota. Nessa tabela, também é definida a precisão em que a resposta deve ser retornada à aplicação solicitante. Os campos da tabela são descritos como se segue:

- *MSISDN* – Representa o número de identificação do dispositivo a ser simulado. Também representa o número de identificação internacional do assinante do sistema de telefonia móvel. É a chave primária da tabela e é formado por um conjunto de números inteiros de até 20 dígitos, sem sinal;
- *Privacy* – Representa a situação em que o dispositivo não pode ser localizado pelo sistema de localização, representado pelo simulador, como se o mesmo estivesse desligado, por exemplo. É logicamente representado por uma escolha binária (S / N = 1 / 0);
- *Path_Route* – Representa a situação em que o dispositivo simulado possui uma rota pré-determinada para percorrer, durante um determinado espaço de tempo. É logicamente representado por uma escolha binária (S / N = 1 / 0);
- *Precision* – Representa a precisão da informação geográfica que será encaminhada como resposta à solicitação de localização de dispositivo. É referente ao número de casas decimais que serão apresentadas na localização geográfica.

A tabela *Route* é o elemento no qual será armazenada a rota específica de um ou mais dispositivos que serão simulados, caso essas rotas existam. Durante a criação de um dispositivo, ou na edição de seus parâmetros, o usuário deverá informar se este dispositivo percorrerá uma rota específica ou permanecerá estático. Esta informação será armazenada na tabela *Main* (através do campo *Path_Route*) e estará associada a outras informações armazenadas na tabela *Route*. Além disso, deve informar também se a rota existente é recursiva ou não, isso é, o dispositivo está percorrendo essa trajetória indo e voltando indefinidamente. Esta tabela é composta pelos seguintes campos:

- *MSISDN* – idem à descrição da tabela *Main*;
- *Rpr* – Sigla de *Recursive Path Route* e representa a situação em que o dispositivo simulado possui uma rota pré-determinada para percorrer e a mesma é ou não recursiva, isto é, o dispositivo fica percorrendo esta rota indefinidamente ou apenas uma vez. É logicamente representado por uma escolha binária (S / N = 1 / 0);
- *Latitude* – Representa a latitude da posição atual dos dispositivos que obedecem ao modelo *random walk*;
- *Longitude* – Representa a longitude da posição atual dos dispositivos que obedecem ao modelo *random walk*;
- *Init_time* – Representa o tempo em que o dispositivo inicia seu trecho de rota e que será utilizado pelo simulador para localizar cronologicamente o dispositivo simulado. É composto por horário (HH:mm:ss). Com relação à data do deslocamento, o sistema utilizará como referência a data atual;
- *End_time* – Representa o tempo em que o dispositivo finaliza seu trecho de rota e que será utilizado pelo simulador para localizar cronologicamente o dispositivo simulado. Sua composição é análoga a *Init_time*;
- *Init_loc_lat* – Representa a latitude da localização geográfica inicial do dispositivo no trecho de rota simulada. É formado por uma *string* composta por 6 números (2 para graus, 2 para minutos 2 para segundos) e um símbolo alfanumérico para indicar a direção (N, S, E, W);

- *Init_loc_lon* – Representa a longitude localização geográfica inicial do dispositivo no trecho de rota simulada. Seu formato é análogo a *Init_loc_lat*, porém, necessita de um caractere a mais para a representação de grau, pois pode variar de -180° a 180°.
- *Init_lat_deg* – Representa o valor da latitude inicial que será armazenado já convertido em graus.
- *Init_lon_deg* – Representa o valor da longitude inicial que será armazenado já convertido em graus.
- *End_loc_lat* – Representa a latitude da localização geográfica final do dispositivo no trecho de rota simulado. Sua composição é análoga a de *Init_loc_lat*.
- *End_loc_lon* – Representa a longitude da localização geográfica final do dispositivo no trecho de rota simulado. Sua composição é análoga a de *Init_loc_lon*.
- *End_lat_deg* – Representa o valor da latitude final que será armazenado já convertido em graus.
- *End_lon_deg* – Representa o valor da longitude final que será armazenado já convertido em graus.
- *Velocity* – Representa a taxa de variação de espaço de um dispositivo simulado. Este valor será empregado para localizar o dispositivo em sua rota.
- *Vel_lat* – Representa a componente da velocidade em graus/h na direção da latitude.
- *Vel_lon* – Representa a componente da velocidade em graus/h na direção da longitude.

Já a tabela *Location* é uma tabela de apoio na qual ficarão armazenadas as informações de localizações pré-estabelecidas, bem como suas coordenadas e um identificador (*label*). Ela serve de ajuda para simplificar a configuração das rotas dos dispositivos. Com esse artifício, o usuário pode indicar os pontos iniciais e finais dos trechos de uma rota pelos *labels* ao invés de informar suas coordenadas geográficas diretamente. Seus campos são:

- *Location_name* – Representa o nome do local a ser armazenado. É composto por uma string de caracteres de comprimento 50;
- *Latitude* – Representa a latitude da localização específica;

- *Longitude* – Representa a longitude da localização específica;
- *Label* – Representa um identificador de referência para o local que foi armazenado. É constituído de uma string de caracteres de comprimento 10.

A Figura 5-14 apresenta um caso de uso onde é possível observar que existe o relacionamento existente entre o analista (*Usermngnr*) e o simulador. Essa figura trata-se de uma versão simplificada do diagrama de casos de uso do simulador, sem expandir a tarefa *ConfigDevices* em suas subtarefas, de acordo com o diagrama da seção 3.6.1. Todas as informações são inseridas pelo usuário por meio da interface de gerenciamento. A base de dados é o elemento responsável por armazenar as informações fornecidas pelo usuário. O sistema permite ao usuário registrar dispositivos ou *Labels*, via as tarefas (*use cases*) *ConfigDevices* e *ConfigLocationLabel*. Cada uma dessas tarefas é decomposta em subtarefas que são responsáveis por armazenar as informações fornecidas na base de dados.

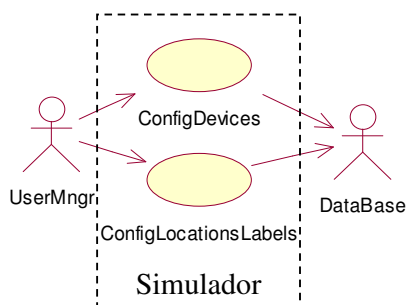


Figura 5-14: Diagrama Use Case simplificado do gerenciamento do simulador

Após definir a arquitetura do simulador, sua implementação foi realizada, de modo a proporcionar a troca de requisições e respostas XML entre este e as aplicações remotas. No próximo capítulo é apresentada, em maiores detalhes, a implementação dos procedimentos realizados durante essa comunicação, bem como os testes de aceitação e validação do simulador.

6. A IMPLEMENTAÇÃO DO SIMULADOR E COMPARAÇÃO COM A PLATAFORMA REAL

O capítulo anterior esteve focado nas etapas que nortearam o planejamento da arquitetura do software. Abordou também questões acerca do layout de sua interface gráfica e do armazenamento de informações na base de dados. Nessa etapa do projeto, o trabalho estava voltado para uma definição sobre quais seriam as funcionalidades a serem implementadas, quais as limitações do sistema e que elementos adicionais seriam necessários. Este capítulo visa apresentar, em maiores detalhes, as tarefas realizadas internamente, pelo simulador, para atender às solicitações das aplicações remotas. Além disso, uma comparação dos resultados obtidos com a plataforma LBS da Siemens e com o simulador do LES desenvolvido é apresentada.

A funcionalidade principal do simulador é alimentar aplicações externas com informações de localização, através do mecanismo de requisições e respostas XML. As informações fornecidas pelo simulador apresentam a posição geográfica de estações móveis. Os dados referentes à identificação de cada estação móvel, bem como suas características de movimento, encontram-se armazenadas na base de dados do sistema e foram previamente configuradas pelo usuário.

6.1. Comunicação entre o Simulador e as Aplicações

Remotas

A seqüência das tarefas executadas a partir da chegada de uma requisição XML é apresentada nas subseções seguintes. A comunicação entre o simulador e a aplicação remota deve passar pelas

etapas definidas na seção 5.3.2, iniciando com a requisição de conexão e seguindo-se ao envio e recepção, pela aplicação remota, de mensagens XML. Todos os elementos que serão mencionados encontram-se referentes à Figura 6-1, que nada mais é que a Figura 5-5 do capítulo anterior, reproduzida aqui para facilitar sua observação nas seções desse capítulo. Essa figura ilustra o diagrama em blocos da arquitetura do simulador.

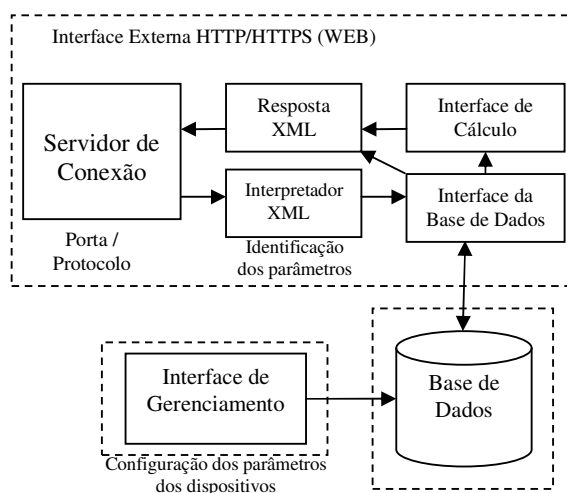


Figura 6-1: Diagrama em Blocos do Simulador do LES

6.1.1. Identificação Porta / Protocolo

Como o simulador deve trabalhar em um ambiente cliente-servidor, operando como servidor, ele precisa estar preparado para receber as solicitações de seus clientes. Segundo a documentação de referência [50], o sistema deve ser capaz de tratar pacotes nos protocolos HTTP e/ou HTTPS. Esses protocolos devem transportar textos XML, que por sua vez contém a mensagem de interesse, incluindo os parâmetros de cada solicitação. Esses parâmetros podem ser:

- identificação do cliente;
- natureza da solicitação;

- número ISDN ou faixa de números a serem localizados; e
- formato de apresentação das coordenadas geográficas.

O código XML apresentado a seguir é um exemplo de requisição de localização, que é encaminhada, pela aplicação remota, para o servidor. Nessa mensagem, existe a solicitação para a localização do dispositivo de número 46011334424 e também dos dispositivos pertencentes à faixa ISDN de 447731334411 até 447731334413.

```
POST /LocationQueryService HTTP/1.1
Host: 200.141.163.163:705
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
Content-Length:958
```

```
&Context=%3C%3Fxml+version%3D%271.0%27%3F%3E%0A%3C%21DOCTYPE+HDR+SYSTEM+%27MLEP_HDR
.DTD%27%3E%0A%3CHDR+ver%3D%271.0%27%3E%0A%3CCCLIENT%3E%0A%3CID%3E%0A%3CFID%3E%0
A%3CPWD%3E%0A%3CPWD%3C%2FPWD%3E%0A%3CSERVICEID%3E0005%3C%2FSERVICEID%3E%0A%3CSERVICE_T
YPE+service_type_type%3D%27PASSIVE%27%3E%0A%3C%2FCLIENT%3E%0A%3CSUBCLIENT+last_c
lient%3D%27YES%27%3E%0A%3CID%3E%0A%3C%2FID%3E%0A%3CSERVICEID%3E0007%3C%2FSER
VICEID%3E%0A%3C%2FSUBCLIENT%3E%0A%3C%2FHDR%3E%0A)
```

```
&Method=SLIR
&Body=
<?xml version = '1.0' ?>
<!DOCTYPE SLIR SYSTEM 'MLEP_SLIR.DTD'>
<SLIR ver='1.0'>
<MSIDS>
<MSID msid_type='MSISDN'>46011334424</MSID>
<MSID_RANGE>
<START_MSID>
<MSID>447731334411</MSID>
</START_MSID>
<STOP_MSID>
<MSID>447731334413</MSID>
</STOP_MSID>
</MSID_RANGE>
</MSIDS>
<EQoP>
<RESP_REQ resp_req_type='LOW_DELAY' />
<HOR_ACC>1000</HOR_ACC>
</EQoP>
<GEO_INFO>
<FORMAT>DMS0</FORMAT>
</GEO_INFO>
<LOC_TYPE loc_type_type='CURRENT_OR_LAST' />
<PRIO prio_type='HIGH' />
</SLIR>
```

Natureza da Solicitação

Localiza um dispositivo específico

Localiza uma faixa de dispositivos

Formato de apresentação de coordenadas

A natureza da solicitação, necessariamente, deve ser um dos serviços oferecidos pela API 2 do LES (*Location Enabling Server*). No exemplo, trata-se de uma solicitação de localização imediata padrão (*Standard Location Immediate Request – SLIR*). É essa natureza de localização que foi definida como alvo de trabalho do simulador. A solicitação SLIR faz parte dos serviços básicos de localização suportados pelo LES e serve bem aos propósitos de validação de aplicações externas de localização. Ainda nesse exemplo, o formato de apresentação das coordenadas geográficas,

representadas por `DMSO`, indica que a resposta deve ser transmitida com as coordenadas de cada localização em graus, minutos e segundos (*Degree, Minutes, Seconds*) e com zero casas decimais de precisão.

Ao receber a requisição, a tarefa inicial do simulador é pré-configurar a mensagem de resposta com a informação da porta e, conseqüentemente o protocolo (HTTP ou HTTPS) que foi empregado para o envio da requisição. Essa tarefa é executada pelo servidor de conexão da interface WEB. É utilizada para que a resposta seja enviada nos mesmos padrões que a requisição de localização, isto é, a partir do protocolo de recebimento da requisição será encaminhada essa resposta à aplicação remota. Isso se faz necessário para que se mantenha um padrão de comunicação entre a aplicação remota e o simulador (servidor).

Após identificar qual a porta/protocolo, o simulador interpretará qual a natureza da mensagem, isto é, o que está sendo requerido ao sistema, identificando qual ou quais os dispositivos móveis serão localizados. É papel do interpretador de XML, localizado na interface externa HTTP/HTTPS (Figura 6-1), ler e interpretar toda a informação que está contida na mensagem. Como mencionado anteriormente, na versão atual do simulador, o sistema está configurado para trabalhar apenas com requisições do tipo SLIR. Isso significa que a resposta apresentada ao solicitante deve conter a localização do dispositivo móvel no instante em que a requisição chegou no sistema.

De posse de uma requisição vinda do cliente, iniciam-se no simulador os processos internos de determinação das localizações dos dispositivos móveis de interesse. Esses processos englobam uma busca na base de dados adicionado a uma manipulação matemática que se faça necessária.

6.1.2. Respostas às Requisições

Após determinar a localização dos dispositivos de interesse, o próximo passo é montar uma resposta XML e encaminhar ao cliente solicitante. A procura na base de dados é realizada pela

interface da base de dados, localizada na interface externa HTTP/HTTPS (Figura 6-1). O simulador está configurado para apresentar respostas para os casos de dispositivo encontrado ou não no sistema. Caso não obtenha nenhum retorno na varredura da base de dados (número de identificação do dispositivo móvel não encontrado), isso significa que o sistema está simulando um aparelho móvel desligado ou fora da área de cobertura da operadora. Assim, o simulador deverá enviar uma mensagem de alerta, no formato XML de resposta, de localização de dispositivo, indicando a falha de localização (*Position Method Failure*). Caso contrário, as demais informações do dispositivo desejado, armazenadas na base de dados do simulador, são selecionadas. A interface da base de dados é capaz de analisar o registro e localizar a informação específica desejada. Caso seja verificado que o dispositivo encontra-se em uma rota pré-estabelecida, existirá a necessidade de manipulação matemática para determinar a sua atual localização. Essa rota pré-estabelecida foi determinada durante a criação individual do dispositivo na base de dados. O algoritmo de deslocamento desse móvel, como foi definido e apresentado anteriormente (seção 5.3.1), obedece à equação de um movimento uniforme:

$$s = s_0 + vt \quad (\text{Fórmula 6.1})$$

Toda manipulação matemática envolvida nas operações de determinação da localização do dispositivo móvel é realizada pela interface de cálculo, também localizada na interface externa HTTP/HTTPS. Tomando os dados da rota obtidos pela interface da base de dados, a interface de dados é capaz de determinar a localização do dispositivo naquele determinado instante. De posse dessa informação específica, o simulador monta a resposta XML e solicita ao servidor de comunicação que a envie para o requerente. É tarefa do módulo de Resposta XML compor essa mensagem. Ela deve obedecer à documentação [50] para ser corretamente interpretada pelo cliente.

A seguir, é apresentado um exemplo de uma resposta à localização de alguns dispositivos. A requisição original solicitou localizar os dispositivos 447731334412 e 447731334413, mas apenas o primeiro é encontrado pelo sistema. A tentativa de localizar o segundo, por algum motivo, não obteve sucesso, sendo informado ao requerente a falha na localização.

```
<?xml version = "1.0" ?>
<!DOCTYPE SLIA SYSTEM "MLEP_SLIA.DTD">
<SLIA ver="1.0">
<POS>
<MSID msid_type="MSISDN">447731334411</MSID>
<PD>
```

```

<TIME>
<LOCAL_TIME>20010604125716</LOCAL_TIME>
</TIME>
<SHAPE>
<CIRCLE>
<POINT>
<LL_POINT>
<LAT>512614</LAT>
<LONG>10400</LONG>
</LL_POINT>
</POINT>
<RAD>550</RAD>
</CIRCLE>
</SHAPE>
</PD>
</POS>
<POS>
<MSID msid_type="MSISDN">447731334412</MSID>
<PD>
<TIME>
<LOCAL_TIME>20010604121534</LOCAL_TIME>
</TIME>
<SHAPE>
<ELLIPSE>
<POINT>
<LL_POINT>
<LAT>522025</LAT>
<LONG>3913</LONG>
</LL_POINT>
</POINT>
<ANGLE>65</ANGLE>
<SEMI_MAJOR>750</SEMI_MAJOR>
<SEMI_MINOR>225</SEMI_MINOR>
</ELLIPSE>
</SHAPE>
</PD>
</POS>
<POS>
<MSID msid_type="MSISDN">447731334413</MSID>
<POSERR>
<RESULT resid="6">POSITION METHOD FAILURE</RESULT>
<TIME>
<LOCAL_TIME>20010604130005</LOCAL_TIME>
</TIME>
</POSERR>
</POS>
<GMT_OFF>+0000</GMT_OFF>
<RESULT resid="0">OK</RESULT>
</SLIA>

```

Se uma requisição for apresentada com alguma irregularidade, o simulador envia uma resposta de erro padrão, informando à aplicação externa que a mensagem deve ser corrigida. O tratamento de erro existe no LES para as situações de: requisições diferentes das permitidas; e requisições contendo elementos não suportados, desconhecidos ou incorretos. No simulador, esse tratamento foi acentuado e, além de verificar a integridade dos elementos da requisição, filtra o tipo de requisições aceitas, de modo a atender apenas as requisições do tipo SLIR (*Standard Location Immediate Request*). De acordo com a documentação da API 2, além do erro de falha de localização, existem vários tipos de

erro que são tratados pelo LES, como erros de comunicação com a rede da operadora e erros internos. Para o simulador, foi definido que os erros que ele deve reportar aos solicitantes são aqueles listados na :

Tabela 6-1: Tratamento de erro do simulador

Fonte de Erro	Código do Erro	Resposta encaminhada
Elemento não localizado	6	POSITION METHOD FAILURE
Elementos adicionais na requisição	105	FORMAT ERROR
	107	PROTOCOL ELEMENT NOT SUPPORTED
Requisição não suportada	108	SERVICE NOT SUPPORTED
Requisição desconhecida ou incorreta	400	BAD REQUEST

O código 6 representa o erro de falha de localização. Os erros que identificam elementos adicionais na requisição (código 105 ou 107) ocorrem quando o *parser* do interpretador XML não consegue entender a sintaxe da mensagem por causa desse elemento adicional. Um *parser* é um programa de computador (ou apenas um componente de um programa) que serve para analisar a estrutura gramatical de um código. Quando não se tratar de uma requisição do tipo SLIR, o erro 108 é apresentado. Já quando uma requisição é desconhecida ou incorreta, isto é, uma requisição é encaminhada solicitando um serviço não existente na API, o erro 400 é reportado ao cliente. Um exemplo de mensagem de erro é apresentado no código a seguir. Trata-se de um erro 105 (*Format Error*):

```
<?xml version = "1.0" ?>
<!DOCTYPE SLIA SYSTEM "MLEP_SLIA.DTD">
<SLIA ver="1.0">
<RESULT resid="105">FORMAT ERROR</RESULT>
<ADD_INFO>MSID.msids_type invalid</ADD_INFO>
</SLIA>
```

6.2. Implementação dos Controles de Simulação

A operação do simulador apresenta uma série de funcionalidades que formam um conjunto de tarefas necessárias para a simulação do elemento proposto. Essas tarefas são chamadas de “controles de simulação” por estarem diretamente associadas com os dispositivos móveis que serão simulados. Esses controles de simulação são responsáveis pela identificação e movimentação dos dispositivos simulados. É possível criar, apagar ou alterar um dispositivo a ser simulado e suas informações. Essas informações, configuráveis pelo usuário, são:

- seu identificador MSISDN;
- posição geográfica;
- rota de deslocamento;
- velocidade de deslocamento; e
- privacidade do usuário.

Todas essas informações podem ser criadas e editadas a partir da interface de gerenciamento. Esta sessão está interessada em explicar os procedimentos para configurar os dispositivos e seus parâmetros associados nas tarefas de inserir, atualizar ou apagar as informações contidas no banco de dados do sistema.

6.2.1. Configuração do MSISDN

Para que um dispositivo exista e seja reconhecido pelo sistema, seu identificador chave será um MSISDN, que será único. MSISDN é a sigla inglesa para *Mobile Station International Subscriber Directory Number*. Trata-se de uma identificação numérica única que identifica os dispositivos móveis em uma rede ISDN, isto é, corresponde ao número de identificação internacional do assinante do

sistema de telefonia móvel. No simulador, existem duas possibilidades de cadastro: a criação de um único dispositivo móvel por vez ou a criação de múltiplos dispositivos móveis em uma única operação. Ao desejar inserir um ou mais dispositivos no sistema do simulador, o usuário deve utilizar a opção de registro de dispositivo na interface de gerenciamento. A escolha de cadastrar um ou mais dispositivos é feita através de um botão de controle apresentado na tela. Esse botão encontra-se destacado na Figura 6-2:

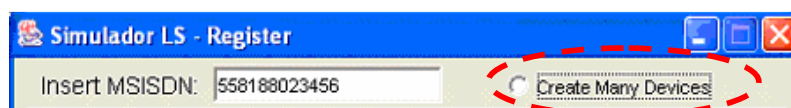


Figura 6-2: Botão de Escolha da criação de dispositivos

Durante a criação de um único dispositivo, é solicitado seu MSISDN e demais informações acerca de sua posição inicial, instante em que o dispositivo será “ligado”, característica de privacidade de serviço de localização e precisão da informação de sua localização. É facultado ao usuário o preenchimento dessas demais informações neste instante. Caso essas informações não sejam fornecidas, valores pré-estabelecidos (*default*) são oferecidos para preencher os campos na base de dados. A posição inicial (*start position*) e o instante inicial (*start time*) são empregados para simular o local e o momento em que o dispositivo móvel é reconhecido pela rede do operador.

Antes de armazenar as informações no banco de dados, o sistema faz uma varredura na tabela *Main*, da base de dados, para verificar se já existe registro do MSISDN no sistema. Isso servirá para não haver duplicidade de informação acerca do dispositivo já cadastrado, sendo efetuada a partir de então apenas atualizações ou a remoção das informações do mesmo.

O simulador está configurado para avisar quando um número de identificação (MSISDN) que está sendo inserido no sistema já existe, através de uma mensagem MSISDN já cadastrado, sem alterar a base de dados com as novas informações. Caso o campo referente a esse número de identificação esteja em branco, e haja uma tentativa de cadastro, a interface de gerenciamento não permite a operação. A Figura 6-3 destaca a tela, da interface de gerenciamento, para o registro de um único dispositivo móvel. Essa operação é também chamada de registro simples de dispositivo. Nela podem ser observados os parâmetros que são solicitados inicialmente, como a posição e o instante inicial, a

opção de privacidade do dispositivo e a precisão que a informação de segundos da latitude e longitude poderão ser apresentadas na resposta. Isso é necessário para os casos em que as requisições não informem a precisão desejada no corpo da mensagem XML.

Figura 6-3: Registro de Dispositivo (simples)

Como existe a necessidade de armazenamento das informações da interface de gerenciamento em uma base de dados, foi definido que o mecanismo de comunicação entre esses dois módulos seria através da linguagem SQL (*Structured Query Language*) [34]. Trata-se de uma linguagem de pesquisa declarativa para banco de dados relacional (bases de dados relacionais). Embora o SQL tenha sido originalmente criado pela IBM, rapidamente surgiram muitas variantes desenvolvidos por outras empresas. Essa expansão levou à necessidade de ser criado e adaptado um padrão para a linguagem.

Esta tarefa foi realizada, inicialmente, pelo Instituto de Padronização Nacional Americano (*American National Standards Institute – ANSI*) [9] em 1986 e ISO (*International Organization for Standardization*) [55] em 1987. Assim, sendo constantemente atualizada desde então, essa é hoje uma linguagem bem difundida e padronizada. A ordem para o armazenamento da informação de MSISDN na base de dados tem o formato de um comando SQL padrão:

```
INSERT INTO Main (MSISDN) VALUES (#MSISDN)
```

Para o caso de remoção do dispositivo, o sistema utilizará um comando no formato:

```
DELETE FROM Main WHERE MSISDN = #MSISDN  
DELETE FROM Route WHERE MSISDN = #MSISDN
```

Um detalhamento dos comandos empregados para o armazenamento das demais informações será apresentado nas subseções 6.2.2 e 6.2.3.

Já para a criação de múltiplos dispositivos, o sistema solicitará, um conjunto mais completo de informações dos dispositivos. Essas informações englobam a quantidade de dispositivos desejada, um prefixo de MSISDN comum ao grupo, uma área de interesse (delimitados por coordenadas geográficas de dois extremos de um quadrado), e as possíveis velocidades máximas e mínimas permitidas aos dispositivos durante seus deslocamentos. Esse prefixo MSISDN é equivalente aos prefixos dos aparelhos móveis de uma operadora. Ele tem a função de possibilitar a criação de uma faixa de dispositivos em seqüência, com o mesmo prefixo, isto é, simulando equipamentos pertencentes à mesma rede. A Figura 6-4 destaca a tela da interface de gerenciamento para a criação de múltiplos dispositivos.

Associados a cada um desses MSISDN estarão suas coordenadas geográficas iniciais, além velocidades de deslocamento. A velocidade de deslocamento de cada dispositivo é obtida randomicamente dentre os valores de máximo e mínimo informados. A localização inicial de cada dispositivo será na latitude mais ao norte ou na longitude mais a oeste, como apresentado no capítulo anterior, isso é, os dispositivos estarão inicialmente dispostos ao longo da latitude ou longitude definidas, igualmente separados lado a lado. Seu deslocamento percorrerá uma rota recursiva. Isso

significa que o mesmo estará se deslocando pela mesma rota em sentido de ida e volta, indefinidamente.

Figura 6-4: Registro de Múltiplos Dispositivos

O mecanismo de cadastro desses dispositivos, na modalidade de cadastro múltiplo, segue o seguinte roteiro:

- varrer e apagar, na base de dados do sistema, todas as referências que iniciem com o prefixo informado;
- verificar qual a latitude mais a norte ou a longitude mais a oeste, da área delimitada, livre para posicionar o dispositivo, em posição distinta dos demais já cadastrados;
- determinar a localização do final do trecho de percurso do dispositivo;

- obter um valor para a velocidade de deslocamento do dispositivo, baseado nos valores máximos e mínimos de velocidade informados;
- determinar a equação de movimento a ser empregada ao empregar o método *random walk* para atualizar a posição do dispositivo;
- armazenar informação do dispositivo na base de dados; e
- iniciar cadastro de dispositivo seguinte.

A lógica do sistema está configurada para que metade dos dispositivos percorra trajetórias no sentido Norte/Sul e a outra metade no sentido Leste/Oeste, recursivamente. Suas trajetórias encontram-se limitadas à área determinada pela informação dos pontos A e B, os quais representam dois vértices diagonalmente opostos de um retângulo. Apenas serão criados números em seqüência, a partir de 0 (zero). Isso significa que a seqüência de números MSISDN criados é uma concatenação entre o prefixo informado e o número de ordem da seqüência de criação do dispositivo, até o limite total de dispositivos a serem cadastrados, que também deve ser informado pelo usuário. Além disso, deve-se obedecer à quantidade de dígitos que o número MSISDN solicite. A interface de gerenciamento está configurada para automaticamente complementar a concatenação. Por exemplo, se o prefixo desejado para o MSISDN for 55818 e a quantidade de dígitos necessários for 12, para o caso de um total de 5000 móveis na rede, os dispositivos criados estarão na seqüência de 558180000000 até 558180004999.

Com essa funcionalidade, é possível cadastrar vários dispositivos, deslocando-se recursivamente, em uma área pré-determinada, como uma região metropolitana ou um estado, de maneira a facilitar o desenvolvimento de aplicações que sejam utilizadas em localizações específicas.

6.2.2. Configuração da Posição Geográfica Inicial

Uma segunda informação que será solicitada pelo sistema é a posição geográfica inicial do dispositivo. Essa informação estará diretamente associada com seu MSISDN. Cada dispositivo tem uma posição geográfica que simulará onde o mesmo estará localizado inicialmente. Este dado será representado pelo par Latitude/Longitude, como um conjunto de caracteres (*String*) formado por sete números (três para Graus, dois para Minutos e dois para Segundos) e uma letra que indicará a direção (N, S, E ou W – North, South, East ou West). Para o simulador, o padrão de três dígitos, adotado para representação da informação de Grau, é necessário devido ao caso específico da Longitude, onde os limites de valores podem alcançar -180° e 180° . Nas situações onde são necessários apenas um ou dois dígitos, é realizada uma complementação com 0 (zero). Por exemplo, a longitude de Recife é $34^\circ 54' 47''$ West. A informação a ser inserida no sistema, com respeito a esse valor será: 0345447W.

Quando executa uma operação de cadastro ou edição das informações de posição inicial do dispositivo, através da interface de gerenciamento, o usuário está atualizando o registro na base de dados. Essa informação será armazenada na tabela *Route*, e servirá para consulta(s) futura(s) durante o processo de simulação. No caso de configurar uma rota de deslocamento do dispositivo, o sistema armazenará essa informação, além de exigir outros parâmetros necessários para configurar a rota. Esse procedimento será apresentado a seguir.

O comando para o primeiro armazenamento das informações de posição geográfica inicial terá o formato de um comando SQL padrão e será:

```
INSERT INTO Route (MSISDN, Init_loc_lat, Init_loc_lon) VALUES (#MSISDN, #Init_loc_lat, #Init_loc_lon)
```

Já para a atualização, que nessa situação se dará pela substituição da posição antiga por uma nova, o comando para apagar será utilizado para excluir a posição antiga e, posteriormente, um novo comando de armazenamento será empregado. O comando para excluir o registro terá o formato:

```
DELETE FROM Route WHERE MSISDN=#MSISDN
```

No momento em que as informações de coordenadas geográficas estiverem sendo armazenadas no banco de dados, automaticamente serão processados os cálculos para obter os referidos valores já convertidos para graus decimais. Assim, além de armazenar a string original, são capturados valores de números reais que representam essa string. Esses graus decimais, também conhecidos como GRAD, são empregados para facilitar o trabalho da interface de cálculo nas operações matemáticas envolvendo as coordenadas, para a atualização de posição, por exemplo. Com isso, uma coordenada 20°15'35" N equivale a 20,259722222 graus, através da conversão:

$$20^{\circ}15'35'' = 20 + \frac{15}{60} + \frac{35}{3600} = 20,259722222$$

Para o armazenamento desses graus decimais, o comando SQL empregado é:

```
INSERT INTO Route (MSISDN, Init_lat_deg, Init_lon_deg) VALUES (#MSISDN, #Init_lat_deg, #Init_lon_deg)
```

6.2.3. Configuração da Rota de Deslocamento

Para cada dispositivo simulado é possível configurar uma rota de deslocamento que será armazenada na base de dados do sistema. Uma rota de deslocamento é uma seqüência de coordenadas geográficas (par latitude/longitude) as quais serão “percorridas” pelo dispositivo simulado.

Ao cadastrar um dispositivo no sistema, o usuário pode desejar inserir a informação da possível rota de deslocamento do mesmo. Isso é realizado na opção de edição de parâmetros da interface de gerenciamento. A Figura 6-5 destaca o botão empregado para acessar essa tela, enquanto que a Figura 6-6 ilustra a referida tela. Para realizar essa operação, o usuário deve, inicialmente, identificar a qual dispositivo deseja se referir, através de seu MSISDN. Após solicitar que seja efetuada uma busca, na base de dados, dos parâmetros já configurados para esse MSISDN, o usuário pode iniciar as modificações desejadas. Na área de *path route*, destacada na Figura 6-6, existe a possibilidade de informar se o dispositivo encontra-se ou não em movimento. Inicialmente, um valor pré-estabelecido (*default*) é empregado para os casos em que o usuário não deseje informar dados

sobre o deslocamento do dispositivo. Esse valor *default* representa a não existência de uma rota. Se for decidido que ele está se deslocando, deve ser informado se sua rota é recursiva ou não. Caso sua rota não seja recursiva, ao chegar no final do último trecho da rota, o dispositivo irá permanecer nessa posição até que seja mudado o dia. Nesse momento, sua rota é reiniciada.

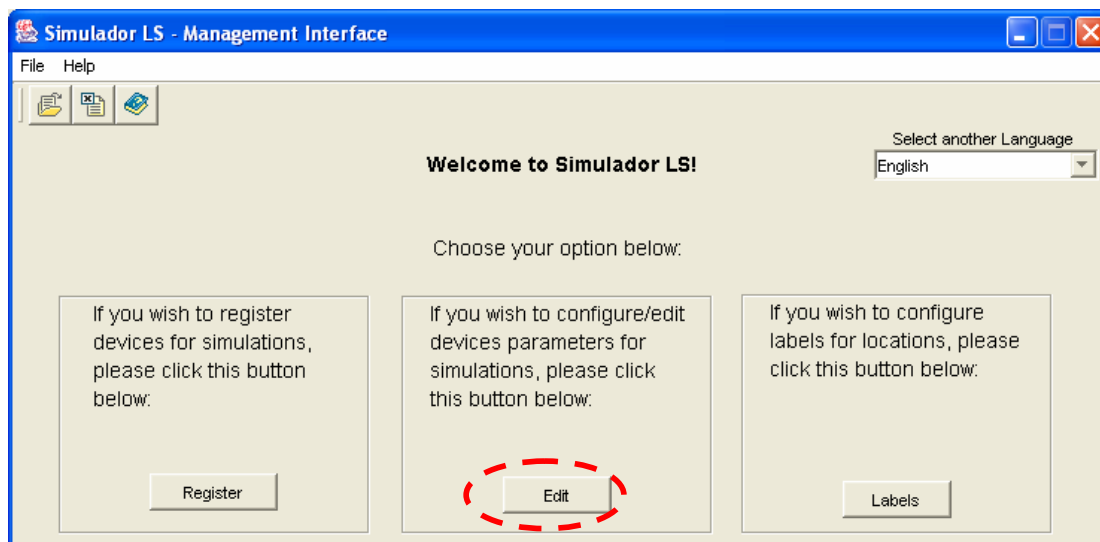


Figura 6-5: Botão de escolha de Edição de Parâmetros

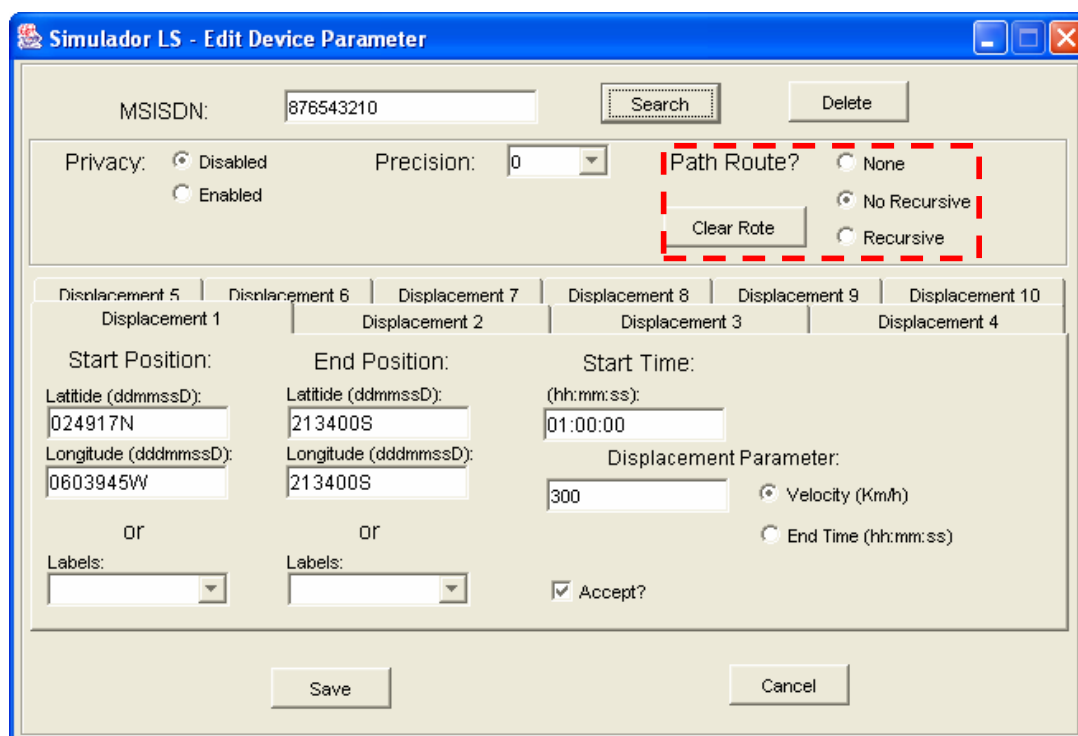


Figura 6-6: Tela de edição de parâmetros

Para a configuração de uma rota são necessários: seu identificador MSISDN; as coordenadas da posição inicial do trecho (latitude e longitude); as coordenadas da posição final do trecho (latitude e longitude); horário inicial, em que o móvel inicia o percurso pelo trecho; e parâmetros de deslocamento.

Os parâmetros de deslocamento podem ser a velocidade de percurso ou o instante de tempo em que o móvel atinge a posição final do trecho (tempo final). A velocidade é o parâmetro de deslocamento principal. A partir das informações de tempo final é possível calculá-la, em qualquer situação, através de manipulação matemática simples, obedecendo a equação de deslocamento de um movimento uniforme. O sistema está configurado para limitar uma rota não recursiva em 10 (dez) trechos consecutivos unindo 2 (dois) pontos geográficos. As informações dos trechos de rota devem ser preenchidas nas abas *displacement 1* a 10. O usuário poderá inserir os locais iniciais e finais de cada trecho na forma de pares latitude/longitude. Essas informações serão armazenadas no banco de dados, mais especificamente na tabela *Route*, e servirão para consultas futuras durante o processo de simulação.

O comando SQL empregado para armazenamento das informações da rota terá o formato:

```
INSERT INTO Route (MSISDN, Init_time, End_time, Init_loc_lat, Init_loc_lon,
End_loc_lat, End_loc_lon) VALUES (#MSISDN, #HH:mm:ss, #HH:mm:ss, #Init_loc_lat,
#Init_loc_lon, #End_loc_lat, #End_loc_lon);
```

O mecanismo de armazenamento das informações dos trechos da rota na tabela *Route* foi implementado de modo a agilizar a busca dos registros, quando a base de dados estiver com muitos dispositivos cadastrados. Todos os tipos de bancos de dados podem ter seu desempenho melhorado pelo uso de índices. O tipo mais comum de índice é uma lista ordenada dos valores de uma coluna de uma tabela, contendo ponteiros para as linhas associadas a cada valor. Um índice permite que o conjunto das linhas de uma tabela, que satisfaçam um determinado critério, seja localizado rapidamente. No simulador, cada registro da tabela *Route* tem como índice o número MSISDN acrescido do número do trecho. Assim, um MSISDN de número 558188991234 ocupa as linhas de 55818899123401 (trecho 1) até 55818899123410 (trecho 10). Dessa forma, a localização dos registros pode ser realizada através dos ponteiros do banco de dados, agilizando o processo.

O procedimento para a atualização das informações de rota é semelhante àquele apresentado para a atualização de posição geográfica inicial. A operação se dará pela substituição da rota antiga por uma nova, com o comando para apagar sendo utilizado para excluir a rota antiga e, posteriormente, um novo comando de armazenamento sendo empregado. O comando para excluir a antiga rota terá o formato:

```
DELETE FROM Route WHERE MSISDN=#MSISDN
```

Para cada uma das rotas de deslocamento haverá a possibilidade de que o dispositivo esteja percorrendo a mesma mais de uma vez, indo e voltando, executando uma espécie de *loop*. Assim se dará a recursividade da rota. Isso será identificado no banco de dados através da variável binária *Rpr* da tabela *Route*. Ao configurar uma rota recursiva, o sistema apresenta ao usuário apenas uma aba *displacement*, limitando esse deslocamento a um único trecho entre 2 (dois) pontos geográficos. Assim, o dispositivo móvel estaria se deslocando entre esses dois pontos, indefinidamente. Nessa aba devem ser informados os seguintes campos:

- coordenada geográfica da posição inicial da rota;
- coordenada geográfica da posição final da rota;
- instante inicial do dispositivo na rota; e
- parâmetro de deslocamento (velocidade de percurso ou instante final do dispositivo na rota).

Essas informações são armazenadas na base de dados possibilitando ao sistema a obtenção de onde, nesse trecho, estará o dispositivo quando for solicitada sua localização. Para obter a informação precisa, pode ser necessária uma manipulação matemática, onde são considerados os instantes inicial e final do dispositivo na rota, sua velocidade de deslocamento e o momento em que chegou a requisição de sua localização. A interface de cálculo é a responsável por efetuar essas operações. Ela toma os referidos valores, calculando o tempo gasto pelo móvel para percorrer um trecho de rota e armazenando essa informação em uma variável X. A seguir, obtém o valor da diferença entre o instante de chegada da requisição de localização e o momento em que o dispositivo iniciou sua trajetória, armazenando na variável Y. De posse dos valores X e Y, a interface executa uma

comparação para identificar o número de voltas completas que o dispositivo percorreu até a chegada da requisição, tendo, nesse momento, condições de determinar qual a atual localização do mesmo.

6.2.4. Configuração dos Parâmetros de Deslocamento

O movimento simulado de cada dispositivo que percorre uma rota está configurado para obedecer a equação de movimento uniforme, entre os pontos iniciais e finais do trecho dessa rota, seja ela recursiva ou não. Dessa maneira, os parâmetros de interesse são o espaço percorrido, a velocidade de deslocamento e o tempo de percurso. Esses dois últimos são chamados parâmetros de deslocamento.

Caso o usuário deseje utilizar uma rota para um dispositivo sem se preocupar com o tempo de deslocamento, ele pode simular seu movimento através da informação da velocidade de deslocamento. Esse valor será representado e armazenado na base de dados por uma variável do tipo ponto flutuante (*Float*), composta de 5 (cinco) números que representarão o módulo da velocidade em Km/h (três inteiros e dois decimais, no formato: XXX,XX Km/h). Mas se o usuário informar, como parâmetro de deslocamento, o tempo final, esse valor será representado e armazenado na base de dados por uma variável do tipo de hora (*Time*), composta de 6 (seis) números que representarão o instante informado no formato hh:mm:ss (h: hora; m: minuto; s: segundo).

Quando da criação de múltiplos dispositivos, a informação requerida é a da velocidade de deslocamento máxima e mínima. Na criação de cada dispositivo, é determinada randomicamente qual sua velocidade de percurso. Depois de localizar sua posição inicial e final, é possível calcular a distância a ser percorrida e o tempo de percurso.

Ambas informações são armazenadas na base de dados. A partir de um desses parâmetros é possível obter o outro, através de uma relação direta, a qual obedece a equação do movimento uniforme.

6.2.5. Configuração da Precisão da Informação Geográfica do Dispositivo

Cada resposta de localização de dispositivo é acompanhada pela informação de quão precisa ela é, isto é, um valor indicando um possível erro de precisão. Existem duas maneiras de se determinar qual a precisão em que a resposta será apresentada. A primeira é a partir da requisição XML. Nesta, a presença da marcação `<GEO_INFO>`, seguida da marcação `<FORMAT>`, solicita qual o formato e a precisão que a resposta àquela requisição deve ter. A seqüência de código a seguir exemplifica o caso:

```
<GEO_INFO>  
<FORMAT>DMS0</FORMAT>  
</GEO_INFO>
```

Nessa seqüência de código, pode ser observado o parâmetro `DMS0`, onde o `DMS` significa a representação em Graus, Minutos e Segundos (*Degree, Minutes e Seconds*), e o algarismo representa o número de casas decimais de precisão da resposta, nesse caso, igual a zero.

A outra maneira de determinação da precisão da resposta é a sua explícita determinação durante a criação do dispositivo. Essa informação é apenas utilizada pelo simulador para determinar qual a precisão da resposta àquelas requisições que não a especificam na mensagem. A Figura 6-7 mostra o local, na tela de registro de dispositivos, onde pode ser escolhida a precisão a ser apresentada na resposta às requisições. Nesse exemplo, caso não haja especificação da precisão na mensagem, a resposta será enviada com uma precisão de três casas decimais no campo dos segundos das informações de latitude e longitude.

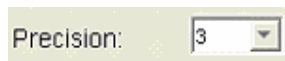


Figura 6-7: Área de escolha da precisão de resposta

Na configuração do dispositivo, o usuário deverá escolher qual a precisão que a informação de latitude e longitude terá quando da resposta à solicitação XML. Esta escolha poderá ser realizada tanto

na tela de cadastro quanto na de edição de parâmetros. Ela se apresenta como uma lista de opções excludentes entre si, variando de 0 (zero) a 5 (cinco) casas decimais para o campo dos segundos da latitude e da longitude.

Quando da criação de múltiplos dispositivos, a precisão pré-estabelecida (*default*) é a de três casas decimais.

6.2.6. Configuração de Privacidade do Dispositivo

No sistema LBS da Siemens, existe a possibilidade de que o usuário do dispositivo móvel autorize ou não a informação da sua localização. Isso se dá através de troca de mensagens SMS entre o usuário e o LES. Para prover esta opção, o simulador desenvolvido utiliza um controle de simulação chamado de parâmetro de privacidade do dispositivo simulado. Para cada dispositivo simulado, existe a opção de negação de informação de localização. Nesse caso, o simulador deve enviar uma mensagem de aviso ao requerente, no formato de uma mensagem XML de resposta de localização, indicando a falha na tentativa de localização do dispositivo.

Ao cadastrar um dispositivo no sistema ou editar os parâmetros do dispositivo, o usuário tem a opção de habilitar / desabilitar a função de privacidade do mesmo. Ao atualizar o banco de dados com as novas informações, o sistema atualiza também o status da variável *Privacy*, pois, antes de iniciar qualquer procedimento de localização, sempre verifica o valor dessa. Ao perceber que a privacidade está habilitada naquele momento, o procedimento de envio de mensagem de falha na localização é iniciado.

É importante observar que não é necessário que o sistema apague qualquer informação que venha a existir na tabela rotas do dispositivo. Essa situação pode ocorrer na simulação de um dispositivo temporariamente desligado, por exemplo, voltando a ativa algum tempo depois. Essa volta

à ativa deve ser feita através da interface de gerenciamento, manualmente, necessitando da ação de desabilitar a privacidade do dispositivo.

6.2.7. Configuração de uma Posição Específica

Para simplificar o trabalho do usuário na configuração de algumas das coordenadas na posição inicial ou rota dos dispositivos, o simulador permite o trabalho com as chamadas posições específicas ou pontos de referência. Dessa maneira é possível utilizar uma lista desses pontos para se determinar um local específico para a indicação de onde está ou passará o dispositivo. Cada um dos elementos dessa lista é conhecido como identificador ou *label*. Ao invés de informar a latitude e a longitude do local, o usuário pode ser referenciar a ele através dessa lista de referência. Automaticamente, o sistema reconhece o *label* e emprega o valor de suas coordenadas geográficas onde se fizer necessário.

Ao acessar o simulador, o usuário terá a possibilidade de armazenar no banco de dados essa associação entre o ponto de referência e sua coordenada geográfica, baseada no par Latitude/Longitude. Para realizar essa tarefa, deve ser escolhida a opção *Labels* na interface de gerenciamento. Isso possibilita o acesso à tela de cadastro e edição de identificadores, que é apresentada na Figura 6-8. Três campos serão necessários para o armazenamento do identificador: um nome completo do lugar; as coordenadas geográficas correspondentes; e um identificador de referência para o local que foi armazenado, que servirá como “atalho”.

Todas essas informações serão salvas na tabela *Location*. O nome completo será armazenado na variável *Location_name*. As coordenadas geográficas serão armazenadas nas variáveis latitude e longitude enquanto o identificador será armazenado na variável *Label*.

O sistema é capaz de aceitar apenas uma única referência para *Location_name* e *Label*. Caso exista a tentativa de duplicidade de uma das variáveis, o sistema informa ao usuário o fato e solicita que as devidas alterações sejam efetuadas.

Figura 6-8: Tela de cadastro e edição de identificadores

O comando para armazenamento da referência toma as três informações mencionadas e tem o formato:

```
INSERT INTO Location (Location_name, latitude, longitude, Label) VALUES
(#Location_name, #Latitude, #Longitude, #Label);
```

Nas telas que necessitam da informação das coordenadas geográficas existem os campos de latitude e longitude, além da lista de identificadores, conforme exemplificado na Figura 6-9 e Figura 6-10, a seguir:

Figura 6-9: Localização inicial, na tela de cadastro de usuários.

Start Position:	End Position:
Latitude (ddmmssD): 024917N	Latitude (ddmmssD): 213400S
Longitude (dddmmssD): 0603945W	Longitude (dddmmssD): 213400S
or	or
Labels: <input type="text"/>	Labels: <input type="text"/>

Figura 6-10: Determinação de trecho de rota, na tela de edição de parâmetros.

Da mesma maneira que todas as demais informações armazenadas na base de dados, existe um comando SQL para a busca dos campos dos registros de identificadores, na tabela *Location*. Esse comando para a localização das informações dos *labels* tem o formato:

```
SELECT * FROM Location WHERE Label=#Label;
```

Assim, toda a funcionalidade do simulador do servidor de habilitação de localização foi implementada, de forma a alcançar todos os objetivos propostos na concepção do projeto. Após a finalização de toda a codificação do simulador, foi realizada a elaboração de um manual de instalação e operação da ferramenta desenvolvida. Nesse manual, todo o processo para a instalação e configuração do simulador é descrito em detalhes, ressaltando os requisitos mínimos do sistema a ser empregado e detalhando o funcionamento do mesmo. Com ele, deve ser possível instalar o servidor, habilitar a interface de gerenciamento, configurar o banco de dados e operar as funcionalidades do sistema.

Na próxima seção, será apresentada uma comparação entre os resultados obtidos com o simulador e aqueles que realmente são obtidos com a plataforma LBS da Siemens, empregada como referência. Essa comparação visa confirmar se o simulador desenvolvido atende às necessidades dos desenvolvedores de aplicativos baseados em localização, de modo a fornecer respostas as suas solicitações em conformidade com o sistema de referência.

6.3. Comparações com a plataforma LBS da Siemens

Alguma comparação entre o funcionamento do simulador do LES e o próprio LES (*Location Enabling Server*) já foi mencionada no decorrer do texto (seções 5.2.1, 5.3, 5.3.2, 6.1.1 e 6.1.2), principalmente para determinação das limitações da ferramenta. Essas limitações foram definidas de modo a serem atingidos todos os objetivos propostos com o projeto. Conforme esses objetivos, o simulador seria uma ferramenta para validar aplicações baseadas em localização. Trata-se de aplicações que necessitam da informação da localização de dispositivos móveis, em um determinado instante, para realizar alguma tarefa específica àquele assinante.

Inicialmente, há uma comparação de como são obtidos os dados de localização dos dispositivos, pelo LES e pelo simulador. Posteriormente, uma comparação entre o desempenho de ambos é realizada, do ponto de vista de hardware e finalmente existe a validação do simulador. Dessa maneira, é possível averiguar o quão próximo do sistema real encontra-se o simulador, de modo a possibilitar a validação das aplicações externas.

6.3.1. Fonte de dados das informações dos dispositivos

Em uma operadora de telefonia móvel, a lista de dispositivos móveis cadastrados em sua rede GSM é obtida, pela plataforma LBS, a partir de uma solicitação a um dos elementos da sua arquitetura (Figura 2-11), o HLR (*Home Location Register*). Trata-se de uma base de dados na rede móvel que guarda os dados do assinante. A cada usuário é atribuído um único HLR. Este registro HLR disponibiliza informações internas à rede sobre os serviços assinados pelo usuário. No HLR encontra-se também a informação sobre a localização atual do cliente, além de informar a qual VLR (*Visitor Location Register*) o dispositivo está associado. Esse último elemento trata-se de uma base de dados

dos visitantes e é outra parte de tecnologia de comutação de uma rede móvel. O registro das localizações dos visitantes guarda informações sobre a localização atual dos usuários que, pelo *roaming*, se encontram registrados na rede como visitantes. Quando um celular se registra no VLR da rede, o registro da base de dados do usuário é copiado do HLR da rede de origem do usuário para o VLR. Assim, a plataforma LBS tem acesso à localização do cliente e pode, então, informar ao SMLC (*Serving Mobile Location Center*) qual dispositivo está sendo localizado e a qual VLR ele está associado. Assim, o SMLC pode alocar os recursos necessários para realizar a localização e retorna à plataforma a informação das coordenadas geográficas de interesse.

Para simular a fonte de informação da rede GSM, o simulador utiliza a sua base de dados, com a estrutura descrita na seção 5.3.3. Ela será a responsável por prover as informações de identificação e movimentação dos dispositivos simulados. A interface de cálculo do simulador (seção 6.1.2) executa o papel do SMLC, de modo a determinar a localização dos dispositivos de interesse a partir das informações da base de dados. A implementação do simulador possibilita que esse banco de dados possa estar localizado na mesma máquina ou em uma outra, desde que haja a possibilidade de consulta remota a mesma. O simulador foi desenvolvido para trabalhar com o MySQL 4.0.17 ou o Postgres 7.0. Durante a instalação do simulador é solicitada a definição desse banco de dados, para que as configurações necessárias sejam automaticamente realizadas, pois os *drivers* JDBC corretos devem ser instalados.

No simulador desenvolvido, existe a possibilidade de armazenamento de uma seqüência de números de telefones se deslocando, intermitentemente, em uma área previamente estabelecida. Com isso, essa funcionalidade tem a tarefa de simular o conjunto de assinantes da rede de uma operadora de telecomunicações móveis. A proposta implementada inicialmente foi espelhar uma operadora cujo número de assinantes cresce na ordem de 50 mil clientes. Assim, o simulador deveria possibilitar a a adição desse número de registros em sua base de dados, quando necessário. No decorrer do desenvolvimento, foram realizados esforços para a diminuição da complexidade matemática envolvida nas equações e a otimização da busca dos registros na base de dados. Esse foi um outro ponto favorável do MySQL e do Postgres, pois ambos possuem rotinas de otimização de armazenamento e

leitura. Isso possibilitou o trabalho com um crescimento da base de clientes da ordem de 500 mil dispositivos.

Segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), atualmente quatro operadoras detêm mais de 90% do mercado do serviço móvel pessoal (SMP) e do serviço móvel celular (SMC) [56]. De acordo com a , o crescimento do número de assinantes móveis, nos últimos anos, é de cerca de vinte milhões/ano. Isso significa que, em um ano, o crescimento do número de estações em operação cresce, aproximadamente, a uma taxa de 1,6 milhões ao mês. Esses números podem ser aproximados para um crescimento de cerca de 400 mil clientes em cada uma das quatro operadoras destacadas. Assim, trabalhar com a expectativa de crescimento de 500 mil dispositivos simulados significa atingir a mesma ordem de grandeza do crescimento mensal individual das principais operadoras de telefonia móvel do país.

Tabela 6-2: Evolução Mensal das Comunicações Móveis no Brasil – SMC e SMP

Mês / Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Janeiro	7.741.856	15.545.824	23.666.677	29.058.551	35.237.766	46.955.244	66.601.929
Fevereiro	7.937.946	16.070.841	23.992.935	29.222.315	35.648.941	47.865.593	67.413.030
Março	8.427.509	16.574.355	24.457.205	29.520.565	35.955.501	49.143.456	68.635.166
Abril	8.891.416	17.117.945	24.850.432	29.857.734	36.369.793	50.336.187	70.790.305
Mai	9.525.284	17.855.894	25.373.939	30.308.316	37.374.924	52.409.452	73.740.384
Junho	10.288.988	18.538.103	25.774.480	30.636.245	38.043.948	54.031.738	75.517.674
Julho	10.923.019	19.124.665	26.125.742	31.037.826	38.820.660	55.245.764	76.578.970
Agosto	11.659.047	19.804.153	26.684.154	31.580.823	40.093.070	58.158.064	
Setembro	12.211.858	20.336.070	27.058.178	32.023.940	40.862.192	58.158.064	
Outubro	12.825.212	20.568.834	27.485.042	32.540.414	41.887.919	59.665.056	
Novembro	13.537.508	21.595.948	27.806.783	33.271.903	43.010.631	61.188.734	
Dezembro	15.032.698	23.188.171	28.745.769	34.880.964	46.373.266	65.605.577	

Fonte: Anatel [57]

Dessa forma, é possível comparar o desempenho do tempo de resposta do simulador, em localizar um ou mais dispositivos, com a plataforma real, sem levar em consideração aspectos referentes a atrasos inerentes à comunicação entre a plataforma de LBS e a rede da operadora. Segundo a documentação da API 2 [50], o LES possui uma latência interna máxima de 1,5 segundos. O simulador conseguiu obter um desempenho bastante semelhante (em torno de 1,35 segundos), principalmente devido ao fato de que não possui tantos processos internos quanto o LES.

6.3.2. Recursos de Hardware

O LES da plataforma LBS da Siemens é projetado para trabalhar como um servidor numa estação Sun, com o sistema operacional Solaris 8. A configuração *Trial/Single Entry*, existente em laboratório, utiliza um computador Sun Fire 280R 2x Sparc III 750 MHz, 1 GB de RAM. Nessa configuração, segundo a documentação da API [50], o LES está preparado para manusear até 45.000 transações por hora e suportar até 1 milhão de dispositivos.

O simulador está projetado para trabalhar em uma máquina Pentium IV, 2GHz, 512MB de RAM, com sistema operacional Windows XP ou Linux. Essa é, provavelmente, a configuração encontrada nos laboratórios do público alvo desse simulador, isto é, os desenvolvedores de aplicativos baseados em informação de localização.

Para a troca de mensagens através dos protocolos HTTP e HTTPS, o sistema real trabalha com portas de comunicação pré-determinadas. Utilizando o protocolo HTTP, a porta de comunicação a ser escutada será a 717. Já quando for empregado o protocolo HTTPS, deve ser configurada a porta 716. Com o simulador, o mecanismo é exatamente o mesmo, pois deve obedecer à documentação da API.

6.3.3. Validação do Simulador

Para verificar qual a taxa de atendimento de solicitações do simulador, foi solicitado à Siemens um aplicativo específico que é empregado para testes na plataforma de LBS real. Trata-se do *OMIP Application TestTool Version 4 (OAT)*, uma ferramenta proprietária, desenvolvida pela filial da Siemens em Munich, Alemanha. Com ele, é possível enviar um vasto número de requisições de localização e receber suas respectivas respostas. Cada requisição e resposta XML é mostrada na tela do aplicativo, de modo a se verificar sua conformidade com a documentação. Esse aplicativo

simplesmente enviava as requisições e recebia as respostas, verificando apenas sua conformidade com a norma e seu status de localização completa. A cada resposta recebida com sucesso, um contador seria incrementado. Esses testes de carga foram efetuados com o simulador durante um período de 10 dias. Após esse tempo, verificou-se que o servidor desenvolvido consegue manusear até 30.000 transações por hora, com uma base de dados com os mesmos 1 milhão de dispositivos. Esse resultado mostrou-se bastante satisfatório para o intuito de validar as aplicações remotas que estejam sendo desenvolvidas para operar com o sistema real.

O código a seguir apresenta um desses testes realizados. Nele são visualizadas a requisição enviada e a resposta recebida. Sua última linha informa ao analista que o código foi respondido corretamente, porém pela mensagem de resposta, observa-se que o dispositivo especificado não foi localizado.

```
##### START #####
date:    Wed Nov 09 12:04:34 GMT-03:00 2005

request:
file: ./resources/requestFiles/API2SLIR14_2004_12_13_9-25-17

<?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1'?>
<!DOCTYPE svc_init SYSTEM 'MLP_SVC_INIT_300.DTD'>

<svc_init ver="3.0.0" >
  <hdr ver="3.0.0" >
    <client >
      <requestmode type="ACTIVE" ></requestmode>
    </client>
  </hdr>
  <slir ver="3.0.0" res_type="SYNC" >
    <msids >
      <msid enc="ASC" type="MSISDN" >558188558823</msid>
    </msids>
    <eqop >
      <ll_acc >10</ll_acc>
    </eqop>
  </slir>
</svc_init>

response:

file: ./resources/responseFiles/API2SLIR14_2005_11_9_12-4-34

<?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1'?>
<!DOCTYPE svc_result SYSTEM 'MLP_SVC_RESULT_300.DTD'>
<svc_result ver='3.0.0'>
  <slia ver='3.0.0'>
    <pos>
```

```

<msid enc='ASC'>558188558823</msid>
<poserr>
  <result resid='6'>LS returned: POSITION METHOD FAILURE </result>
  <time utc_off='-0200'>20051109130717</time>
</poserr>
</pos>
</slia>
</svc_result>

```

The server response code is: OK

```
##### END #####
```

Para realizar a análise de conformidade do simulador, foi descrita uma especificação de testes, a qual detalhava quais experimentos deveriam ser empregados para analisar o comportamento do simulador, durante sua instalação, apresentação e funcionamento. Esses testes foram realizados identicamente para as plataformas Windows e Linux, empregando o MySQL e o PostgreSQL. Para enviar as requisições, mais uma vez foi utilizado o aplicativo OAT.

A Tabela 6-3 representa **Erro! Fonte de referência não encontrada.**a planilha especificada no documento de especificação de testes e empregada para os testes de instalação e operação do simulador. Nessa tabela, existem quatro etapas de testes (Instalação; Funcionalidade; Erros; e mensagens XML), abrangendo duas fases (instalação e uso do simulador). Cada uma dessas etapas possui testes específicos, que são listados na segunda coluna.

Tabela 6-3: Planilha de Testes de Aceitação

Etapas	Testes a serem realizados
Testes de Instalação	Instalação do Software, segundo o manual; Configuração da Base de Dados Inicialização do Servidor
Testes de Funcionalidade	Habilitação da Interface de Gerenciamento Criação de identificadores (<i>labels</i>) Criação de um único dispositivo Criação de múltiplos dispositivos Alteração de parâmetros de dispositivos criados Criação de rota específica para alguns dispositivos a partir de latitude e longitude Criação de rota específica para alguns dispositivos a partir de <i>labels</i>
Testes de Mensagens de Erro	Criação de dispositivo com MSISDN já existente Criação de identificador já existente Informação de Latitude superior a 90° Informação de Longitude superior a 180°
Testes de Recebimento e	Resposta a localização de um único dispositivo

Respostas XML	Resposta a localização de uma seqüência de dispositivos
	Resposta a requisição com determinação da precisão da informação de latitude e longitude
	Resposta a localização de dispositivo com privacidade habilitada
	Resposta a localização de dispositivos não cadastrados
	Resposta a requisições com erro de sintaxe
	Resposta a requisições diferentes de SLIR
	Resposta a requisições não conhecidas

Durante o período de testes, foi determinado que um usuário, que não teve contato com o desenvolvimento, realizasse cada uma das tarefas da planilha de testes. Ao realizá-las, esse usuário deveria preencher a planilha identificando o *status* da tarefa. Esse *status* só poderia admitir as respostas: OK (para tarefa realizada sem erros) e ERRO (para tarefas não realizadas ou realizadas com problemas). Caso surgisse algum erro, o usuário identificava a tarefa na qual esse erro ocorreu e relatava qual o erro ocorrido. Ao final do teste, a planilha seria, então, devolvida pelo usuário e seria analisada, para a correção dos eventuais problemas.

Após dois períodos de testes, a planilha não apresentava nenhum *status* negativo. Nesse momento, o simulador foi mantido em funcionamento para responder requisições do OAT, realizando um teste de carga. Os resultados obtidos atenderam às expectativas de projeto, pois todas as requisições foram respondidas de acordo com a documentação. Dessa maneira o simulador foi validado.

7. CONCLUSÃO

Os últimos séculos surgiram, para a humanidade, acompanhados por um enorme volume de mudanças em sua vida cotidiana, atingindo atividades como produção, comércio, serviços, ensino, entretenimento e pesquisas, dentre outras. Tudo isso atingiu um ponto onde todas as atividades humanas atuais são reflexos dessas transformações. São nessas transformações que estão inseridas as evoluções por que passam as sociedades. É correto afirmar que, hoje em dia, essas mudanças atingem tão profundamente a vida das pessoas devido ao fato do grau de maturidade alcançado pela tecnologia existente no mundo. Segundo Alvin Toffler, esta é a *onda do conhecimento* [58]. Mas dentro dela há um agente propulsor de grandes transformações: a comunicação. Porém, esta se apresenta como uma ferramenta que deve ser considerada não apenas de forma isolada, mas como é gerada, processada e transmitida.

Dentro desse contexto, pode ser observado que uma das invenções que obteve um fantástico impacto tecnológico foi a concepção do telefone. Tal sistema mudou crucialmente os hábitos sociais e mercadológicos, além de outros aspectos da vida humana do século XX. A constante demanda pelo serviço de telefonia promoveu o desenvolvimento dessa invenção e as pesquisas em sua evolução tornaram-se cada vez mais necessárias.

Porém, mesmo nos dias atuais, em que a população já está habituada a essas transformações, o emprego de soluções novas é uma tarefa bastante delicada. Cada inovação pode vir acompanhada de elementos ou situações cujo impacto no cotidiano das pessoas e empresas seja lentamente assimilado, tornando assim, uma solução pouco viável para o dinamismo da vida moderna. Dessa maneira, a simulação surge como uma alternativa bastante atraente para a correta avaliação da influência que uma determinada solução possa afetar a estrutura atual. Desde a década de 50, quando os primeiros estudos com simulação computacional foram empregados, esta é uma área que tem recebido importantes contribuições, tanto do aspecto da modelagem matemática quanto de metodologias e abordagens

empregadas. Seu emprego já é notado em muitas áreas, desde a aeronáutica até o entretenimento, passando por medicina e telecomunicações.

Nos últimos anos, um novo conceito em telefonia surgiu causando um novo impacto na sociedade: a telefonia móvel. Com ela vieram associadas novas possibilidades e uma vasta linha de pesquisa completamente inédita. Dessas linhas de pesquisas, surgiram novidades que rapidamente foram incorporados ao cotidiano das pessoas. Uma área de pesquisa específica está atraindo as atenções do mundo das telecomunicações reporta-se aos serviços baseados em localização (*Location-Based Services* – LBS). Esses sistemas procuram empregar o dispositivo móvel como uma ferramenta que possibilita a localização precisa de seu proprietário. Atraídos pelas possibilidades que eram vislumbradas, vários fabricantes, rapidamente, formaram grupos de pesquisa no intuito de desenvolver suas plataformas. Desde o surgimento do conceito de LBS, as tecnologias que dão suporte a esses sistemas estiveram em constante desenvolvimento e já atingem um alto grau de progresso desde sua concepção. O avanço nos estudos das tecnologias de posicionamento possibilita às plataformas de localização se tornarem mais precisas e rápidas. Porém, várias ramificações tecnológicas também surgiram nessa área de pesquisa, de forma que havia situações em que tecnologias distintas trabalhavam melhor em ambientes distintos. Devido à vasta quantidade de tecnologias de posicionamento desenvolvida, houve a necessidade de flexibilização dessas plataformas, através do emprego de soluções híbridas. Assim, para atender a um determinado ambiente, a plataforma é capaz de empregar a solução que apresente os melhores resultados.

Essas plataformas de localização, por si só, apenas fornecem um meio de obtenção da informação de localização geográfica dos dispositivos móveis. Assim, outros elementos são necessários para tratar essa informação e proporcionar ao usuário o serviço que ele necessite. Esses elementos são as aplicações de localização, que requerem, como alimentação de sua funcionalidade, a informação de localização vinda da plataforma. Porém, essas plataformas possuem um custo elevado de aquisição, em torno de centenas de milhares de dólares, tornando inviável a sua compra por parte dos desenvolvedores de aplicativos baseados em localização. Desta maneira, um meio de baixo custo, que possibilite o trabalho com a funcionalidade de uma plataforma real, foi desenvolvido para atender a esses desenvolvedores: o simulador do LES.

O simulador do LES (*Location Enabling Server*), ora apresentado, visa proporcionar a esse desenvolvedor uma maneira mais econômica de utilizar o recurso de localização de dispositivos da plataforma de LBS da Siemens, através da utilização de uma estação de trabalho simples. Trata-se de uma ferramenta que está em conformidade com a documentação [50] da interface de programação de aplicação (API) da referida plataforma. Com ela, é possível configurar um cenário de testes, realizar a troca de mensagens XML e validar um aplicativo em desenvolvimento sem a necessidade da aquisição de uma plataforma real. Isso possibilita aos desenvolvedores baratear os custos de produção de suas aplicações, bem como beneficia a empresa (no caso específico desse projeto, a Siemens), quando facilita esses desenvolvimentos através da liberação da ferramenta, no intuito de agregar valor a seu produto.

Para desenvolver esse simulador, procurou-se empregar um processo dividido em etapas bem definidas:

- especificação de funcionalidades: etapa inicial do desenvolvimento. Produziu um documento de especificação funcional onde estavam definidas as tarefas que o simulador realizaria, bem como as limitações em relação à plataforma de LBS da Siemens;
- detalhamento de implementação: etapa do desenvolvimento onde foram definidas: qual seria a arquitetura do simulador; como seriam implementadas as funcionalidades; em que linguagem seria a programação; e como seria estruturado o banco de dados. Esta etapa gerou um documento de especificação de projeto, complementando o documento de especificação funcional. Ambos os documentos foram seguidos durante as etapas posteriores do desenvolvimento;
- codificação: etapa onde seria realizado a codificação do simulador, de acordo com os documentos de especificação e de projeto da ferramenta;
- testes de validação: etapa onde seria avaliado o simulador e seu grau de conformidade com as especificações. Nessa etapa, o simulador foi aprovado e seu desenvolvimento foi finalizado.

7.1. O Estágio Atual do Simulador e Trabalhos Futuros

Atualmente o simulador desenvolvido já se encontra em uso por parte dos desenvolvedores parceiros da Siemens. As informações de *feedback* obtidas entre eles dão conta que seu emprego está correspondendo às expectativas dos usuários e da empresa. Questionada se havia alguma outra ferramenta de simulação para sua plataforma LBS, a Siemens do Brasil informou que o simulador do LES é o único trabalho nesse sentido, sendo inclusive cogitada a sua evolução.

Em contrapartida às vantagens apresentadas para os desenvolvedores e para a empresa, o simulador desenvolvido reproduz apenas a funcionalidade básica de localização de dispositivo da plataforma LBS da Siemens, através de suas coordenadas geográficas. Isso significa que atinge, perfeitamente, o objetivo de servir como ferramenta de validação de aplicativos baseados em localização. Porém, o sistema real possui várias outras funcionalidades, que possibilitam desde serviços avançados de localização até a administração de clientes e suas preferências, dentre outras. A exploração das demais funcionalidades da API 2 é uma proposta para a evolução do simulador. Assim, uma ferramenta mais completa pode ser entregue aos desenvolvedores, de modo a lhes proporcionar um meio de projetar sistemas que trabalhem com dados além da informação de localização pura e simples. Dessa forma, os desenvolvedores podem lidar com os serviços avançados de localização, serviços de geo-codificação, de navegação e rota, de busca e de mapas.

Além disso, o simulador foi originalmente codificado para que sua interface gráfica se apresente na língua inglesa. Porém, durante seu desenvolvimento, foi ventilada a possibilidade de se empregar versões para vários idiomas. Daí, uma lista de seleção foi disponibilizada na interface de gerenciamento, para a escolha dentre as alternativas possíveis (Figura 7-1). Para isso, existe uma proposta de desenvolvimento de um conjunto de arquivos de idiomas, de modo a possibilitar ao simulador apresentar os textos das janelas da interface gráfica em várias línguas.

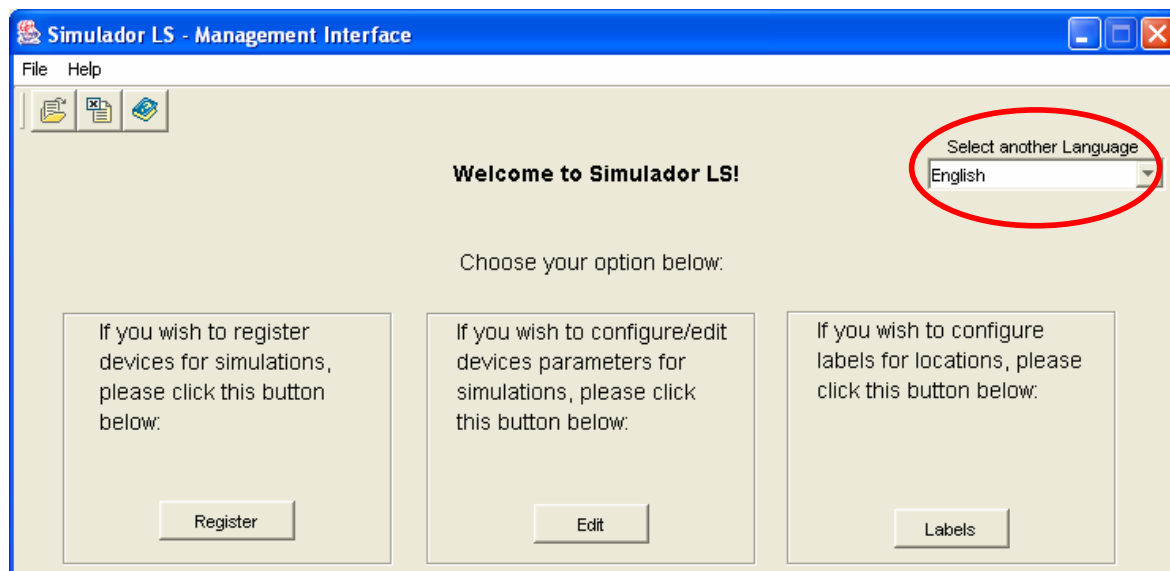


Figura 7-1: Seleção de Idiomas

Por fim, uma outra sugestão para a evolução do simulador refere-se ao atendimento a mais de um cliente, simultaneamente. Dessa forma, um estudo para a determinação de um modelo de tráfego de atendimento do sistema pode ser realizado, de acordo com a seção 3.5.1. Assim, será possível dimensionar o tráfego necessário e implementar a melhor maneira de atendê-lo.

REFERÊNCIAS

- [1] GROSVENOR, Edwin S.; WESSON, Morgan. **Alexander Graham Bell**. Ed. Harry N Abrams Inc. Boston. 1997. ISBN: 0-8109-4005-1.
- [2] TANEMBAUM, Andrew S. **Computer Networks**. Fourth Edition. Ed. Prentice-Hall. 2003. ISBN: 0-13-066102-3.
- [3] _____. **Computer Networks**. Third Edition. Ed. Prentice-Hall. 1996. ISBN: 0-13-349945-6.
- [4] ALVES, Luiz. **Comunicação de Dados**. Ed. Makron Books do Brasil. São Paulo. 1992. ISBN: 0-07-460521-6.
- [5] ETSI. **European Telecommunications Standards Institute**. Disponível em: <http://www.etsi.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [6] NTT. **Nippon Telephone & Telegraph**. Disponível em: http://www.ntt.co.jp/index_e.html. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [7] FCC. **Federal Communications Commission**. Disponível em: <http://www.fcc.gov/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [8] KAARANEM, Heikky; AHTIAINEN, Ari; LAITINEN, Lauri; *et. al.* **UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services**. Ed. Wiley. 2001. ISBN: 0-471-48654-X.
- [9] ANSI. **American National Standards Institute**. Disponível em: <http://www.ansi.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [10] SCHILLER, Jochen; VOISARD, Agnès. **Location-Based Services**. Ed. Morgan Kaufmann. 2004. ISBN: 1-55860-929-6.
- [11] TIA. **Telecommunications Industry Association**. Disponível em: <http://www.tiaonline.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [12] QUALCOMM. Disponível em: <http://www.qualcomm.com/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [13] JERUCHIN, Michel C.; BALABAN, Philip; SHANMUGAN, K. Sam. **Simulation of Communications Systems: Modeling, Methodology and Techniques**. Second Edition. Ed. Kluwer Academic. Nova York. 2000. ISBN: 0-306-46267-2.
- [14] CEPT. **European Conference of Postal and Telecommunications Administrations**. Disponível em: <http://www.cept.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [15] CHIARADIA, Denis L.; MURAKAMI, Melina; MELO, Paulo A. M. **Evolução das Redes Celulares**. Apresentado como trabalho de conclusão do Curso de Especialização em Gestão em Telecomunicações. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2004.
- [16] ITU. **International Telecommunications Union**. Disponível em: <http://www.itu.int/home/index.html>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.

- [17] SS7. **Signaling System 7**. Disponível em: <http://www.iec.org/online/tutorials/ss7/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [18] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA DO BRASIL. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Volume III. 8ª Edição. 1986. ISBN: 85-06-00068-8.
- [19] SMITH, Douglas J. **HDL Chip Design: A practical guide for Designing, Synthesizing and Simulating ASICs and FPGAs using VHDL or Verilog**. Ed. Doone. 1996. ISBN: 0-9651934-3-8.
- [20] AHDL. **Analog Hardware Description Language**. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=124666. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [21] VHDL. **Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language**. Disponível em: <http://www.vhdl-online.de/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [22] C [Referenciar] SCHILD, Herbert. **C Completo e Total**. 3ª Edição. Ed. Makron Books. 1997. ISBN: 85-346-0595-5.
- [23] C++. STROUSTRUP, Bjarne. **The C++ Programming Language**. Third Edition. Ed. Addison-Wesley. 1997. ISBN: 0-201-88954-4.
- [24] CORNELL, Gary; HORSTMANN, Cay S. **Core Java 2**. Volumes 1 e 2. Ed. Makron Books do Brasil. São Paulo. 2000. ISBN: 85-346-1225-0.
- [25] BORLAND. **Delphi**. Disponível em: <http://www.borland.com/us/products/delphi/index.html>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [26] STRACK, Jair. **GPSS: modelagem e simulação de sistemas**. Ed. LTC. Rio de Janeiro. 1984.
- [27] JAIN, Raj. **The Art of Computer Systems Performance Analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling**. Ed. John Wiley. New York. 1991. ISBN: 0-471-50336-3.
- [28] HAYES, Jeremiah F.; GANESH BABU, Thimma V. J. **Modeling and Analysis of Telecommunications Networks**. Ed. John Wiley. New York. 2004. ISBN: 0-471-34845-7.
- [29] CAMPOS, Carlos A. V.; DE MORAES, Luís F. M. **Modelos Markovianos de Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad hoc**. Disponível em: http://www.ravel.ufrj.br/arquivosPublicacoes/ST2003_Modelos_Markoviano_Mobilidade_AdHoc.pdf. Acesso em: 06 de Novembro de 2005. Publicado durante o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC2003, Natal, RN, Brasil.
- [30] RUP. **Rational Unified Process**. Disponível em: <http://www-306.ibm.com/software/awdtools/rup/support/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [31] BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James, JACOBSON, Ivar. **The unified modeling language user guide**. Ed. Addison-Wesley, 1999. ISBN: 0-201-57168-4
- [32] OMG. **Object Management Group**. Disponível em: <http://www.omg.org>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [33] LARMAN, Craig. **Utilizando UML e Padrões: Uma Introdução à Análise e ao Projeto Orientados a Objetos**. Ed. Bookman. Porto Alegre. 2000. ISBN: 85-7307-651-8.

- [34] **W3 SCHOOLS**. Disponível em: <http://www.w3schools.com/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [35] ZUCKER, Peter. **Important considerations for introducing location-based services**. 2004. Disponível em: <http://www.embedded-control-europe.com/pdf/ecemay04p42.pdf>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [36] GIAGLIS, George M.; PATELI, Ada.; FOUSKAS, Kostas; *et al.* **On the Potential Use of Mobile Positioning Technologies in Indoor Environments**. Disponível em: [http://ecom.fov.uni-mb.si/proceedings.nsf/Proceedings/470EE786EC116F7DC1256E9F0034EBF0/\\$File/giaglis.pdf](http://ecom.fov.uni-mb.si/proceedings.nsf/Proceedings/470EE786EC116F7DC1256E9F0034EBF0/$File/giaglis.pdf). Acesso em: 06 de Novembro de 2005. Publicado durante *15th Bled Eletronic Commerce Conference – eReality: Constructing the eEconomy*. Bled, Slovenia. 2002. p. 413 – 429.
- [37] SKOLNIK, Merrill I. **Introduction to Radar Systems**. Ed. McGraw-Hill. New York. 1962. ISBN: 07-057905-9.
- [38] FRANCE, Emma; TRACEY, Karina; NEUREITER, George; *et al.* **Where are the others mobile buddies around town?** Disponível em: <http://www.eurescom.de/~ftproof/web-deliverables/public/P1000-series/P1045/IST-Mobile-Summit2001.pdf>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [39] CHENG, David K. **Field and Wave Eletromagnetics**. Second Edition. Ed. Addison-Wesley. 1989. ISBN: 0-201-12819-5.
- [40] HALONEN, Timo; ROMERO, Javier; MELERO, Juan; **GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS**. Second Edition. Ed. Wiley. 2003. ISBN: 0-470-86694-2.
- [41] 3GPP. **GSM RELEASES**. Disponível em: <http://www.3gpp.org/specs/releases.htm>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [42] TRUEPOSITION. **E-112 Issues and Answers: Recommendations and Insight for the Optimal Planning and Implementation of E-112, Emergency Wireless Location for the European Union**. Disponível em: http://www.trueposition.com/e112_issues_and_answers.pdf. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [43] OMA. **Open Mobile Alliance**. Disponível em: <http://www.openmobilealliance.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [44] ETSI. **European Telecommunications Standards Institute**. Disponível em: <http://www.etsi.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [45] 3GPP. **3rd Generation Partnership Project**. Disponível em: <http://www.3gpp.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [46] ATRIB. **Association of Radio Industries and Businesses**. Disponível em: <http://www.arib.or.jp/english/index.html>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [47] ATIS. **Alliance for Telecommunications Industry Solutions**. Disponível em: <http://www.atis.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [48] TTA. **Telecommunications Technologies Association**. Disponível em: <http://www.tta.or.kr/English/new/main/index.htm>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [49] SIEMENS, **Information OMIP/LES 2.0**. Siemens. 2001.

- [50] SIEMENS, **Open Mobile Internet Platform OMIP/LES V2.0** – API 2.0: Developer's Guide. Siemens. 2002.
- [51] **GEOTOOLBOX**. Disponível em: <http://www.geotoolbox.com/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [52] TCP. **Transmission Control Protocol**. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc0793.txt?number=793>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [53] **MySQL**. Disponível em: <http://dev.mysql.com/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [54] **PostgreSQL**. Disponível em: <http://www.postgresql.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [55] ISO. **International Organization for Standardization**. Disponível em: <http://www.iso.org/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [56] ANATEL. Agência nacional de Telecomunicações. Ministério das Comunicações. **Participação do mercado no serviço móvel pessoal - SMP**. Disponível em: http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/comunicacao_movel/smp/participacao_smp_mercado.pdf. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [57] _____. **Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/>. Acesso em: 06 de Novembro de 2005.
- [58] NUNES, Frederico D. **Comunicações Ópticas**. Apostila da disciplina de Comunicações Ópticas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – Eletrônica da Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2001.

Q3s

Queiroz, Leonardo Batista de.

Simulador para servidor habilitador de localização em plataforma LBS. – Recife: O Autor, 2006.
xiv, 167 folhas. : il. ; fig. , tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Elétrica, 2006.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica. 2. Telefonia móvel – GSM. 3. Telefonia móvel – Serviços de Localização. 4. Serviços Baseados em Localização (LBS) – Simulador. I. Título.

621.3 CDD (22.ed.)

UFPE
BCTG/2007-011