

1

Introdução

A crescente demanda de novos serviços de transmissão de dados sem fio, que requerem mobilidade e altas taxas de transmissão, tem originado pesquisas e desenvolvimento tecnológicos em diversas áreas da engenharia como as das Telecomunicações, Eletrônica e Informática. Como resultado deste grande trabalho conjunto, existem hoje técnicas sofisticadas e integradas que nos permitem ter dispositivos portáteis com facilidades de acesso a redes sem fio e com capacidade de execução de aplicativos diversificados que incluem iteratividade e serviços de comunicação multimídia.

As novas redes tem permitido, ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento de conceitos de mercado focados na disponibilização de serviços múltiplos num único aparelho. Este conceito de convergência busca unificar os serviços que um usuário normalmente utilizava através de diferentes dispositivos de acesso (telefones celulares, modems, decodificadores, etc.). Os serviços denominados *triple-play* são a unificação da telefonia, da transmissão de dados e da transmissão de imagens no ambiente móvel.

Um dos desafios no âmbito dos negócios para redes sem fio móveis é a concorrência com a transmissão de dados em redes fixas. O mercado de redes sem fio para dados oferece oportunidades particularmente promissoras para regiões onde não existe alta penetração de sistemas cabeados para oferta de serviços de banda larga. Neste sentido, o mercado Latino Americano permitirá uma penetração das redes sem fio mais rápida que em países da Europa e nos Estados Unidos, onde os serviços de banda larga via cabo são amplamente difundidos, até com fibra ótica na última milha.

Da mesma forma, existem novos desafios técnicos para o planejamento eficiente destes sistemas de comunicação. Estes novos desafios tratam basicamente da operação e desempenho adequado de redes sem fio em diferentes tipos de ambiente, da oferta de alta capacidade para permitir a adição de novos usuários dentro de uma determinada faixa do espectro, ou seja, do desenvolvimento de sistemas com alta eficiência espectral, e do atendimento a características específicas como multiplexação de serviços, mobilidade, segurança, baixo consumo de energia e convergência com redes

baseadas em protocolo IP.

O objetivo atual é o de criar redes totalmente convergentes, que permitam integrar dentro de uma mesma infraestrutura de telecomunicações todos os serviços que podem ser oferecidos aos usuários finais. Redes de transporte inteligentes e rádios que se auto configurem sob determinadas condições de tráfego permitirão esta convergência. O futuro das novas redes integradas convergentes representa um grande desafio na comunidade acadêmica e industrial.

No momento em que este trabalho é escrito, existe grande preocupação em todo o mundo devido à crise econômica. Neste momento crítico em que muitos setores da indústria estão fortemente prejudicados pela baixa demanda de consumo, o setor das Telecomunicações, em particular, é considerado um setor forte, pois a demanda por serviços de comunicação é sempre crescente pela necessidade básica da comunicação humana. Desta forma, prevê-se que um dos setores menos afetados pela crise econômica mundial seja o das Telecomunicações. Por outro lado, muito do trabalho científico produzido para o surgimento de novas redes está focado na diminuição de custos, na otimização de recursos e na facilidade de implementação. A tendência do mercado atual, que busca menores preços por serviços melhores e mais diversificados, permitirão o desenvolvimento rápido dos sistemas de acesso sem fio em banda larga.

Para que a implementação de redes sem fio seja eficiente, a engenharia de rádio-frequência (RF) precisa de procedimentos e metodologias de cálculo confiáveis e de ferramentas computacionais de uso simples e execução rápida com o objetivo final de implantar redes que ofereçam alto grau de satisfação ao usuário final. Neste sentido muito esforço tem sido destinado ao desenvolvimento de métodos de simulação e predição de cobertura de sistemas de acesso sem fio com bases de dados de alta resolução que permitam prever o comportamento da rede e antecipar soluções de engenharia eficientes.

1.1

Um pouco da História

No que diz respeito à transmissão de sinais por meio de fios usando energia eletromagnética, o primeiro trabalho conhecido foi o de Samuel Morse, que em 1844 enviou a primeira mensagem à distância através do telégrafo. Em 1853 o cientista australiano Julius Wilhelm Gintl provou que podiam ser transmitidos simultaneamente diversos sinais pela mesma linha telegráfica. Em 1875 já é inventado o microfone e o primeiro serviço de notícias por cabo. A partir daí nasceram a Telegrafia e a Telefonia, serviços que cresceram

vertiginosamente e incorporaram inovações objetivando a otimização de recursos [1]. Os serviços de telefonia fixa cresceram e atualmente representam 1,267 bilhão de linhas telefônicas instaladas no mundo inteiro [2]. No Brasil, até 2008 foram instaladas 41,3 milhões de linhas de telefonia fixa. Avanços tecnológicos mais recentes incluem técnicas de modulação e compressão de dados que permitem o uso de linhas telefônicas existentes para a transmissão de dados em altas taxas. Paralelamente surgiram redes de TV a cabo que hoje disputam mercado com as operações tradicionais de telefonia fixa.

Na área de comunicações sem fio a base teórica para explicar a propagação de ondas eletromagnéticas foi estabelecida no ano de 1873 por James Clerk Maxwell. Só em 1885, o físico alemão Heinrich Rudolph Hertz demonstrou experimentalmente as leis formuladas por Maxwell [3]. Na vertente da engenharia, trabalhos realizados por Eduardo Branly em 1890 permitiram obter o primeiro oscilador detector de ondas eletromagnéticas (COESOR). Em 1892 Sir William Crookes, com a construção de tubos raios catódicos de dois eletrodos, forneceu a tecnologia para uso de ondas eletromagnéticas na transmissão de sinais [1].

Entre os anos de 1893 e 1895 cientistas como Nicolas Tesla, Olivier Lodge e Alexandre Popoff, deram importantes contribuições na área experimental. Em 1895 se anunciou oficialmente a primeira transmissão de sinais utilizando ondas eletromagnéticas por Guglielmo Marconi que com inteligência fez uso dos trabalhos até ali desenvolvidos por outros [1, 3, 4]. No Brasil cabe mencionar os trabalhos do padre Roberto Landell de Moura, que já em 1893 fez experiências com transmissão de sinais por ondas eletromagnéticas [5]. Estas transmissões pioneiras abriram caminho para o surgimento, nos anos de 1919 e 1920, dos primeiros serviços com aplicação comercial como a radiotelegrafia, radiodifusão e a radiotelefonia [4, 6].

Neste cenário de serviços emergentes foram criados, entre os anos de 1925 e 1927, organismos de regulamentação do espectro como a URI (União Radiotelegráfica Internacional) na Europa e o FCC (*Federal Communications Commission*), criado pelo Congresso Americano. A um dos organismos já existentes, a ITU (*International Telegraphic Union* - sigla antiga), que desde 1865 regulamentava a telegrafia com fios, foi acrescentada a convenção de Radiotelegrafia, neste sentido em 1932 já é formada a ITU com a nova denominação *International Telecommunication Union*. Dentre as finalidades da ITU, que atualmente inclui 191 países membros, podemos destacar a distribuição e atribuição de frequências em âmbito internacional, de forma a evitar interferências prejudiciais entre sistemas. Nas Américas foi criada em 1993, pela Assembléia Geral da Organização dos Estados Americanos

(OEA) uma organização regional, o CITELE (Comitê Interamericano para as Telecomunicações), com atribuições complementares às da ITU [4,6].

1.1.1

Comunicações móveis

As redes de Telefonia Móvel de Primeira Geração (1G), originalmente desenvolvidas para a prestação de serviços de comunicação de voz, começaram a operar comercialmente no início dos anos 80 e tornaram-se maduras e amplamente difundidas no início dos anos 90. Estas redes tinham como característica principal a transmissão analógica, sendo a transmissão de dados a baixas taxas de (10 kbps por exemplo) usada apenas nos canais de controle das Estações Rádio Base (ERB). Dentre as redes com estas características podemos citar os sistemas AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) utilizados nos Estados Unidos e América Latina principalmente, o sistema NMT (*Nordic Mobile Telephone Network*) utilizado em alguns países de Europa, e o TACS (*Total Access Communication System*) utilizado na Inglaterra. A Tabela 1.1 indica as tecnologias de Telefonia Móvel 1G. [7].

No final dos anos 80 apareceram comercialmente as redes de Telefonia Móvel de Segunda Geração (2G), que se diferenciaram das redes 1G pela transmissão digital utilizando técnicas de codificação e compressão de dados. Dentre os sistemas com estas características destaca-se o sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*), que originalmente foi implementado na Europa e especificado inicialmente pelo CEPT (*Conference of European Posts and Telegraphs*) e depois pelo ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*). Atualmente o sistema GSM está presente na maior parte das redes de telefonia móvel do mundo. Juntamente com o sistema GSM aparecem os sistemas D-AMPS, a versão digital do AMPS, CDMA IS-95 e PHS (*Personal Handyphone System*) este usado apenas no Japão. As características das redes 2G permitem a transmissão de dados com taxas superiores às encontradas na Primeira Geração e que chegam a 19,2 kbps.

Posteriormente apareceram os sistemas que permitiram a transmissão de dados a maiores taxas de transmissão, denominadas redes 2,5 G. Entre estas novas redes estão as que evoluíram do GSM, o GPRS (*General Packet Radio Service*) com taxas de transmissão de até 48 kbps e o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) com taxas de transmissão de até 384 kbps. Na linha de evolução que adotou o CDMA está o CDMA1xRTT (*Radio Transmission Technology*) com taxas de transmissão de até 144 kbps.

A seguir, com a evolução das tecnologias de segunda geração, aparecem as redes de terceira geração 3G priorizando a transmissão de dados a

Sigla	Nome	Descrição
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>	Desenvolvido pelos Laboratórios <i>Bell</i> no final dos anos 70 e comercialmente em uso nos Estados Unidos em 1983. Usa a faixa de frequências de 800 MHz.
C450	C-450	Sistema instalado na África do Sul no final dos anos 80, utiliza a faixa de frequências de 450 MHz.
C-Netz	C-Netz	Lançado na Suíça em 1981 pela rede da Comvik, foi implementado em Alemanha e Áustria
JTAC	<i>Japanese Total Access Communications System</i>	Sistema da Motorola similar ao AMPS, inicialmente instalado na Inglaterra em 1985 na faixa de frequências de 900 MHz.
NTT	<i>Nipon Telegraph and Telephone</i>	Sistema analógico Japonês
HICAP	NTT-HICAP	Versão do NTT de maior capacidade
N-AMPS	<i>Narrowband Advanced Mobile Phone Systems</i>	Desenvolvido pela Motorola como um passo para a migração dos sistemas analógicos para digitais. Triplica a capacidade dos sistemas AMPS
NMT450	<i>Nordic Mobile Technologies</i>	Desenvolvido pela Ericsson e Nokia para uso nos países Nórdicos. Usa a faixa de frequências de 450 MHz.
NMT900	<i>Nordic Mobile Technologies</i>	Desenvolvido pela Ericsson e a Nokia para operação nos países Nórdicos. Usa a faixa de frequências de 900 MHz.
NMT-F	<i>Nordic Mobile Technologies</i>	Versão francesa do NMT
RC2000	<i>Radiocom 2000</i>	Sistema Francês lançado comercialmente em 1985
TACS	<i>Total Access Communications System</i>	Desenvolvido pela Motorola similar ao AMPS, inicialmente instalado na Inglaterra em 1985, usa a faixa de frequências de 900 MHz.

Tabela 1.1: Telefonia Móvel 1G - Cronologia.

altas taxas. Com a finalidade de estabelecer padrões mínimos e garantir a interoperabilidade entre sistemas, a ITU estabeleceu o conceito de sistemas IMT-2000 (Internacional Mobile Telecommunications). Neste sentido, o GSM deu origem às tecnologias baseadas em W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), HSPA (*High Speed Packet Access*) e HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), com taxas de transmissão de até 2 Mbps. O CDMA 1xRTT evoluiu para o CDMA 1xEVDO (*Evolution Data Only*) com taxas de transmissão máximas entre os 450 e 800 kbps. A Figura 1.1 mostra todas as tecnologias ITU aprovadas para o desenvolvimento do conceito IMT-2000.

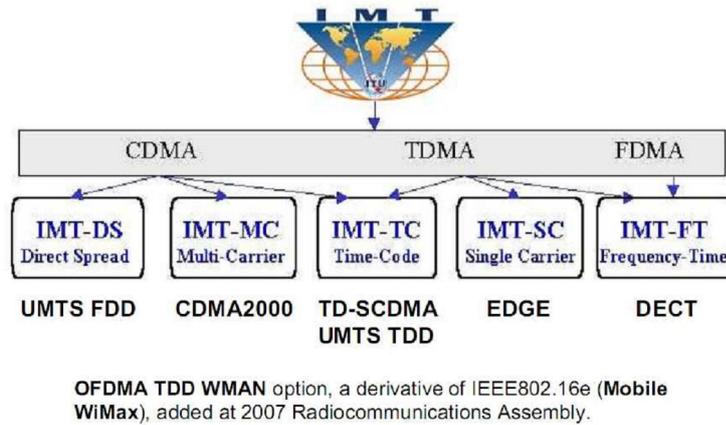


Figura 1.1: Evolução de sistemas sem fio - Visão ITU [Fonte: ITU].

1.1.2 Situação atual

Atualmente existem implementações de redes 2G com as principais tecnologias CDMA e GSM, da mesma forma que redes 3G com as tecnologias UMTS e EVDO. A respeito das tendências de adoção de tecnologias CDMA, o CDG (*CDMA Development Group*) indica que, no final de 2008, o CDMA 2G e 3G é a tecnologia usada por 465 milhões de usuários no mundo inteiro, com 50,9% deles concentrados na Ásia. A distribuição de usuários CDMA é indicada na Figura 1.2.

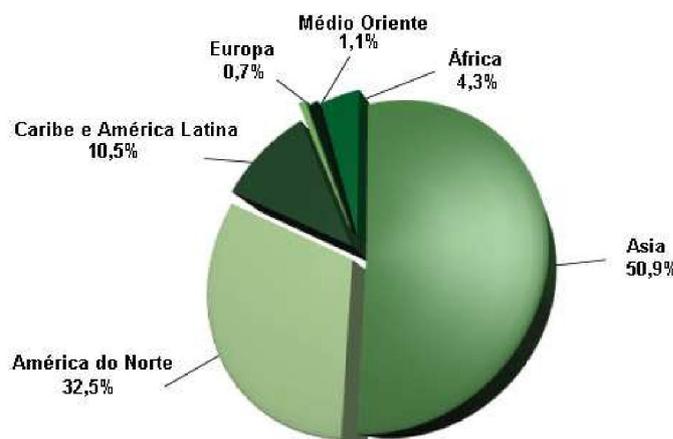


Figura 1.2: Implementações de redes CDMA (cdmaOne, CDMA2000 1X e 1xEV-DO) [Fonte: CDG].

A tecnologia GSM congrega a grande maioria dos usuários no mundo, com 86% do mercado. São 3 bilhões de usuários de GSM (entre tecnologias 2G e 2,5G) e 81 milhões de usuários de tecnologias 3G nas redes WCDMA e HSDPA [Fonte: *GSMA Mobile Infolink* em setembro de 2008].

Outras tecnologias de segunda geração como TDMA (*Time Division Multiple Access*), PDC (*Personal Digital Cellular*) e iDEN (*Integrated Digital Enhanced Network*), que não apresentam uma evolução direta para tecnologias 3G com a visão da ITU, representam apenas 36 milhões de usuários. A tendência destes usuários será a migração seja para a linha do CDMA ou para o sistema GSM.

Adicionalmente aos sistemas celulares 2G e 3G, foram desenvolvidos mais recentemente sistemas de acesso sem fio para aplicações de transmissão de dados em banda larga em redes locais e metropolitanas. Os principais sistemas deste tipo são os padronizados pelo IEEE: WiFi (IEEE 802.11a/b/g/n), WiMedia (IEEE 802.15), WiMAX (IEEE 802.16-2004/e), IEEE 802.20 e IEEE 802.22. Os sistemas WiFi, em particular, cresceram muito na última década como alternativa de comunicação em ambientes públicos (restaurantes, hotéis, aeroportos, etc) e com uma ampla gama de aplicações, desde a simples conexão à internet até sistemas sofisticados de vídeo vigilância e suporte à logística.

Uma das tecnologias que está entrando no mercado das comunicações móveis de voz e dados é a que faz uso do padrão IEEE 802.16e (ou redes WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) e que, em algumas regiões do mundo, encontra-se em fase avançada de instalação e comercialização. Atualmente existem aproximadamente 3 milhões de usuários de tecnologia IEEE 802.16 no mundo inteiro.

No Brasil o interesse comercial nesta tecnologia aparece com a primeira outorga de licenças na faixa de 3,5 GHz para as operadoras Embratel, Brasil Telecom (Vant), Grupo Sinos, Neovia e WKVE, cada uma com operações distribuídas em algumas capitais brasileiras. Prevê-se que neste ano (2009) seja realizada uma nova licitação para venda de blocos adicionais de espectro na faixa de 3,5 GHz. Com isto será aberta uma oportunidade para crescimento e desenvolvimento de redes WiMAX no Brasil. Cabe mencionar que desde 2005 há incentivo do governo brasileiro em projetos relacionados às redes WiMAX com foco social, incluindo a pesquisa e desenvolvimento de produtos e redes para prefeituras dentro do conceito de cidades digitais.

1.2

Objetivos da tese

- a) Realizar medições de campo para caracterização do canal de radio-propagação móvel na faixa de frequências de 3,5 GHz em ambiente urbano.
- b) Utilizar ferramentas de processamento de dados e simulação que permitam identificar os parâmetros característicos do canal.

- c) Fazer um ajuste de modelos existentes para previsão da perda de propagação para o ambiente de medição ou desenvolver novos métodos.
- d) Obter os parâmetros que caracterizam o canal em banda larga e desenvolver métodos para a estimativa destes parâmetros.

1.3

Proposta do trabalho

Uma das principais características a ser analisada é o efeito de multipercursos no ambiente de propagação, que se traduz no espalhamento da potência recebida em função do tempo e da direção de chegada. Os sinais que chegam ao receptor em diferentes intervalos de tempo são somados vetorialmente, resultando num sinal reforçado ou desvanecido dependendo da distribuição de fases destes sinais. Mesmo quando ocorre reforço do sinal, os retardos excessivos entre as componentes provocam interferência inter-simbólica resultando em altas taxas de erro de *bit* na recepção. Adicionalmente, o canal variante no tempo produzirá espalhamento no domínio da frequência Doppler devido ao movimento produzido pelo receptor ou espalhadores dentro do ambiente [8, 9].

O principal objetivo da tese será a caracterização do canal móvel na faixa de frequências de 3,5 GHz em ambiente urbano através da perda média de propagação e do perfil de retardos. O trabalho realizado contempla campanhas de medição realizadas no bairro da Gávea na cidade do Rio de Janeiro, com antena instalada no topo do prédio Cardeal Leme da PUC-Rio, a 42 metros de altura. O receptor montado em um veículo trafega por diferentes rotas nos bairros da Gávea, Leblon e Lagoa.

A técnica de medição utilizada faz uso da transmissão de portadoras simultâneas ao longo de canais de 20 MHz, 7 MHz, 3,5 MHz e 1,75 MHz de largura de banda. Utiliza-se modulação OFDM, o que permite obter ortogonalidade entre as subportadoras, diminuindo interferência entre elas.

Como forma de avaliar os resultados de perda de propagação e comparar valores medidos com modelos de predição encontrados na literatura, será realizada uma etapa de simulação, que contempla a determinação da perda de propagação devida às edificações com os modelos das Recomendações ITU-R P.1546-3 e ITU-R P.1411 e o modelo SUI (Stanford University Interim Model), utilizando bases de dados de edificações de alta resolução desenvolvidos também no âmbito do presente trabalho [10, 11, 11].

A organização dos capítulos da tese é descrita a seguir. No capítulo 2 são apresentados os modelos teóricos referentes à caracterização do canal de

rádio-propagação móvel, em banda estreita e banda larga. No capítulo 3 são apresentadas as técnicas de medição para caracterização de canais em banda larga. O Capítulo 4 detalha o *set-up* de medição utilizado para a campanha de medição com a identificação dos equipamentos utilizados e descrição dos testes prévios de laboratório. O Capítulo 5 apresenta os resultados das campanhas de medição. No Capítulo 6 são apresentadas as análises dos dados das medições realizadas e a modelagem das características do canal, incluindo métodos para predição de perda média de propagação e dos parâmetros característicos do canal em banda larga, o valor médio e desvio padrão do retardos RMS e as amplitudes de retardo. O capítulo 7 apresenta conclusões obtidas no trabalho e sugestões para sua continuidade através de trabalhos futuros. Em anexos são apresentados os programas de simulação desenvolvidos em código de Matlab[®], as especificações técnicas dos equipamentos, a autorização do uso do espectro obtida para realização das atividades experimentais, a organização do banco de dados de medição e as rotas de medição empregadas.