



Rogério Moreira Lima Silva

**Caracterização de Canal em 3,5GHz Usando
Técnicas de Sondagem STDCC e OFDM**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Gláucio Lima Siqueira

Rio de Janeiro

Abril de 2011



Rogério Moreira Lima Silva

Caracterização de Canal em 3,5GHz Usando Técnicas de Sondagem STDCC e OFDM

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Gláucio Lima Siqueira
Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

Prof. Carlos Vinício Rodríguez Ron
Inmetro

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello
Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

Profa. Leni Joaquim de Matos
UFF

Prof. Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos
Inmetro

Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza
Inmetro

Prof. Antonio Dias de Macedo Filho
Universidade Gama Filho

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de abril de 2011

Todos os direitos reservados. é proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Rogério Moreira Lima Silva

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Maranhão em 2001, e Mestre em Engenharia Elétrica pelo Instituto Militar de Engenharia em 2004

Ficha Catalográfica

Silva, Rogério Moreira Lima

Caracterização de canal em 3,5 GHz usando técnicas de identificação sondagem STDCC e OFDM / Rogério Moreira Lima Silva; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – 2011.

125 f. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Caracterização de canal. 2. STDCC. 3. OFDM. I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que me incentivaram, apoiaram e possibilitaram esta oportunidade de ampliar meus horizontes. Agradeço também ao Dr. Rodolfo Sabóia por disponibilizar o laboratório e a VAN do INMETRO e todos os equipamentos necessários a Tese, e ao apoio da equipe do INMETRO, em especial ao Dr. Pedro Gonzales e ao Engº João Calbras do laboratório de TV digital, bem como o técnico Jacir. Agradeço também aos amigos: Leonardo, Fabrício, Marco Aurélio, Sandro, António e Vanessa.

Agradeço a Universidade Gama Filho, em especial ao Pró-reitor Prof. Dr. Paulo Cesar Dahia Ducos e ao Prefeito Prof Sebastião de Oliveira Ramos pelo apoio dado, principalmente em ceder o local para instalação do transmissor. Também agradeço ao Sr. Glimar Barroso de Araújo, Chefe do SEOMA, pelo auxílio e por providenciar alimentação para o transmissor, e também ao Sr Ailson Guimarães da Silva, chefe de segurança da UGF. Agradecimento especial ao amigo Prof Fábio Salgado por sua ajuda e apoio nas questões relacionadas à Universidade Gama Filho.

Agradecimentos aos meus pais Francisco Silva e Maria Telma Moreira Lima Silva, e em especial ao meu avô William Moreira Lima, grande incentivador de meus estudos, que infelizmente não pode estar mais conosco devido ao seu falecimento em 30 de junho de 2008. Um agradecimento especial a minha esposa Cristina Pinto Carvalho Moreira Lima Silva que sempre me apoiou e incentivou na conclusão deste trabalho.

Não poderia deixar de prestar um agradecimento especial ao Dr. Carlos Rodriguez, meu co-orientador, por toda ajuda na Tese, tanto no setup de medidas bem como toda a ajuda nas dúvidas com o software *Matlab* para aquisição e processamento dos dados.

E em especial ao meu Professor Orientador Dr. Gláucio Lima Siqueira, por sua disponibilidade, paciência, atenção e dedicação.

**“AS LEIS DA MATÉRIA SÃO AQUELAS QUE
NOSSAS MENTES DEVEM FABRICAR, E AS
LEIS DA MENTE SÃO AQUELAS
FABRICADAS PELA MATÉRIA ”.**

JAMES CLERCK MAXWELL

Resumo

Silva, Rogerio Moreira Lima; Siqueira, Gláucia Lima (Orientador). **Caracterização de Canal em 3,5GHz Usando Técnicas de Sondagem STDCC e OFDM**. Rio de Janeiro, 2011. 125p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nos últimos anos a demanda por serviços de comunicações móveis tem crescido de modo significativo. Embora o serviço telefônico ainda predomine, com a popularização dos terminais móveis, a transmissão de dados (mensagens curtas, correio eletrônico, acesso à Internet, etc.) assume progressivamente uma posição relevante no mercado. Os sistemas móveis de 2ª geração (2G) e da geração de transição (2,5G) ocupam atualmente as faixas de 800 / 900 MHz e 1,8 / 1,9 GHz, sendo esta última estando prevista também para a 3ª geração (3G). O aumento crescente que se observa na capacidade dos sistemas móveis e a possibilidade de congestionamento do espectro em UHF são fatores que justificam investigar a utilização de frequências mais elevadas, onde o problema da largura da faixa de transmissão é menos restritivo. Por outro lado, é de se esperar que, inicialmente, a necessidade de expansão do espectro para os serviços móveis seja crítica em áreas urbanas e suburbanas. As áreas suburbanas são importantes devido aos problemas para prover acesso banda larga nestas regiões devido a baixa capilaridade das redes de TV a Cabo e dos Modems ADSL. A demanda por banda larga faz surgir novas tecnologias, em especial Wi-Fi e WiMAX. Entretanto, as WLAN's como Wi-Fi dependem de *backhall* para expansão destas redes. Assim sendo, a tecnologia WiMAX surgiu como alternativa para que se tenha uma oferta de serviços banda larga que atenda a demanda por estes serviços. Neste contexto, o presente trabalho propõe um estudo do canal em 3,5GHz (pois a mesma está licitada para uso do WiMAX no Brasil) em áreas suburbanas por estas serem as que mais sofrem com o problema de falta de cobertura por produtos banda larga, sem ter na maioria dos casos, sua demanda atendida. O estudo será fundamentado nos fenômenos físicos que caracterizam o canal em 3,5GHz e na análise a partir de duas técnicas de sondagem OFDM e STDCC. Uma comparação entre as técnicas citadas e seu uso para caracterização de canal.

Palavras-chave

Caracterização de Canal; STDCC; OFDM.

Abstract

Silva, Rogerio Moreira Lima; Siqueira, Gláucia Lima (Advisor). **Channel Characteristic at 3,5GHz with Souding Techniques STDCC and OFDM**. Rio de Janeiro, 2011. 125p. PhD Thesis – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In the last years the demand for services of mobile communications has grown in significant way. Although the telephonic service still predominates, with the increase of the mobile terminals, the transmission of data (short messages, e-mail, access to the Internet, etc.) it is assuming an excellent position in the market. The mobile systems of 2^a generation (2G) and the generation of transistion (2,5G) occupy the bands of 800 currently/ 900 MHz and 1,8/ 1,9 GHz, this last one being also foreseen for 3^a generation (3G). The increasing increase that if observes in the capacity of the mobile systems and the possibility of congestion of the specter in UHF is factors that they justify to more investigate the use of raised frequencies, where the problem of the width of the transmission band is less restrictive. On the other hand, it is of if waiting that, initially, the necessity of expansion of the specter for the mobile services is critical in urban areas. The suburban area important due the problems for supply access wideband in these regions due to problems of density these modem cable and ADSL. Actually the demand by wideband, go to the sprouting of new technologies in special Wi-Fi and WiMAX. However, the WLAN's as Wi-Fi depend on the backhall for expansion of theses nets. Like this being, the technology WiMAX arose like alternative for that have a wide band service offering that attend the demand by these service. In this context this work proposes a study of the channel in 3,5GHz (therefore to same this licitado for use of the WiMAX in Brazil) in suburban areas by these will be the that more suffer with the cover absence problem by products wide band, without have, in the majority of the cases, its demand attended. The study will be substantiated us physical phenomena that characterize the channel in 3,5GHz and in the analysis from two techniques of survey OFDM and STDCC. A comparison between the techniques cited and his use for characterization of channel.

Keywords

Channel Characteristic; STDCC; OFDM.

Sumário

1. Introdução	14
2. Caracterização do Canal	17
2.1. Canal de Comunicação	18
2.2. Aleatoriedade e Canais Variantes no Tempo	21
3. Setup de Medidas	29
3.1. STDCC	30
3.1.1. Faixa Dinâmica	34
3.1.2. Resolução em Frequência	34
3.1.3. Resolução de Multipercurso	35
3.1.4. Fator de Escala	35
3.1.5. Resolução Doppler	36
3.2. Sonda STDCC	36
3.3. OFDM	39
3.3.1. Faixa Dinâmica.	44
3.3.2. Resolução em Frequência	45
3.3.3. Resolução de Multipercurso	45
3.4. Sonda OFDM	46
4. Ambiente de Medidas	48
4.1. Escolha das Rotas	48
5. Metodologia de Captura e Análise de Dados	54
5.1. Captura de Dados	54
5.2. Análise de Resultados	59
5.2.1. Análise de Perfis	59
5.2.2. Análise de Variabilidade	84
6. Conclusão	89
Referências bibliográficas	92
Apêndice A	97
Apêndice B	111
Apêndice C	122
Apêndice D	123
Apêndice E	124

Lista de figuras

Figura 2.1 – A resposta do receptor permite que os ecos do pulso transmitido possam ser sobrepostos produzindo a interferência intersimbólica (ISI).	17
Figura 2.2– Modelo de Canal no Domínio do Tempo	19
Figura 2.3 – Modelo de Canal no Domínio da Frequência. Fonte:[2]	19
Figura 2.4 – Relação entre as funções que caracterizam o canal	20
Figura 2.5 – As funções de Autocorrelação do Canal	22
Figura 2.6 – Relações entre as funções de Correlação dos Canais WSSUS	25
Figura 3.1 – Função de Autocorrelação da sequência PN.	31
Figura 3.2 – Gráfico ilustrando sequência filtrada (em azul) e não filtrada (em vermelho)	31
Figura 3.3 – Varredura em 3,5GHz	32
Figura 3.4 – Varredura em 3,5GHz	32
Figura 3.5 – Varredura em 3,5GHz	33
Figura 3.6 – Varredura em 3,5GHz	33
Figura 3.7 – Transmissor instalado na cobertura do prédio AG no Campus Piedade da Universidade Gama Filho	37
Figura 3.8 – Curva do resposta do amplificador de potência	38
Figura 3.9 – Resposta do amplificador de potência na região linear	38
Figura 3.10 – Perfil em Visada	39
Figura 3.11 – Subportadoras de um Sinal OFDM	40
Figura 3.12 – Transmissão de um sinal OFDM	40
Figura 3.13 – Recepção de um sinal OFDM	41
Figura 3.14 – Mapeamento para transmissão de um sinal OFDM	41
Figura 3.15 – Mapeamento para recepção de um sinal OFDM	42
Figura 3.16 – Gráfico ilustrando o sinal OFDM	43
Figura 3.17 – Gráfico ilustrando sequência filtrada (em azul) , sequência não filtrada (em vermelho) e sinal OFDM (em verde)	44
Figura 3.18 – Curva do resposta do amplificador de potência	46
Figura 4.1 – Visualização do Transmissor para a Rota 1	48
Figura 4.2 – Rota 1 identificada em vermelho	49
Figura 4.3 – Visualização do Transmissor para a Rota 2	49
Figura 4.4 – Rota 2 identificada em vermelho	50
Figura 4.5 – Visualização do Transmissor para a Rota 3	50
Figura 4.6 – Rota 3 identificada em vermelho	51
Figura 4.7 – Visualização do Transmissor para a Rota 4	51
Figura 4.8 – Rota 4 identificada em vermelho	52
Figura 4.9 – Visualização do Transmissor para o Receptor da recepção fixa	52
Figura 4.10 – identificação da medida feita fixa.	53
Figura 4.11 – Rota 1 em vermelho, Rota 2 em azul, Rota 3 em verde e Rota 4 em rosa.	53
Figura 5.1 – Sistema receptor usado nas medições	55
Figura 5.2 – Unidade Móvel usada nas medidas	55
Figura 5.3 – Recepção de Sequência PN usando filtro	56

Figura 5.4 – Recepção de Sequência PN sem filtro	57
Figura 5.5 – Recepção de Sinal OFDM	57
Figura 5.6 – Sinal recebido quando se envia uma sequência pseudoaleatória.	58
Figura 5.7 – Sinal recebido quando se envia um sinal OFDM	58
Figura 5.8a – Perfil de retardos STDCC rota 1 (d=1,13km), em azul marcado os multipercursos detectados	60
Figura 5.8b – Perfil de retardos OFDM rota 1 (d=1,13km), em azul marcado os multipercursos detectados	60
Figura 5.9a – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos rota 1 (d=1,13km)	61
Figura 5.9b – Perfil de retardos OFDM rota 1 com multipercursos válidos (d=1,13km)	61
Figura 5.10 – Perfil de retardos STDCC rota 1 (d=1,13km), em azul marcado os multipercursos detectados	62
Figura 5.11 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos rota 1 (d=1,13km)	62
Figura 5.12 – Perfil de retardos STDCC rota 1 (d=1,12km), em azul marcado os multipercursos detectados	63
Figura 5.13 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=1,12km) rota 1	63
Figura 5.14 – Perfil de retardos STDCC rota 1 (d=1,09km) , em azul marcado os multipercursos detectados	64
Figura 5.15 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=1,09km) rota 1	64
Figura 5.16 – Perfil de retardos STDCC rota 1 (d=1,03km) , em azul marcado os multipercursos detectados	65
Figura 5.17 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=1,03km) rota 1	65
Figura 5.18a – Perfil de retardos STDCC rota 2 (d=2,69km) , em azul marcado os multipercursos detectados	66
Figura 5.18b – Perfil de retardos OFDM rota 2 (d=2,69km)	66
Figura 5.19 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=2,69km) rota 2	67
Figura 5.20 – Perfil de retardos STDCC rota 2 (d=2,69km) , em azul marcado os multipercursos detectados	67
Figura 5.21 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=2,69km) rota 2	68
Figura 5.22 – Perfil de retardos STDCC rota 2 (d=2,69km) , em azul marcado os multipercursos detectados	68
Figura 5.23 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=2,69km) rota 2	69
Figura 5.24 – Perfil de retardos STDCC rota 2 (d=2,69km) , em azul marcado os multipercursos detectados	69
Figura 5.25 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos (d=2,69km) rota 2	70
Figura 5.26 – Perfil de retardos STDCC rota 2(d=2,66km) , em azul marcado os multipercursos detectados	70
Figura 5.27 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos rota 2 (d=2,66km)	71

Figura 5.28 – Perfil de retardos STDCC rota 2 ($d=2,65\text{km}$), em azul marcado os multipercursos detectados	71
Figura 5.29 – Perfil de retardos STDCC ($d=2,65\text{km}$) rota 2	72
Figura 5.30 – Perfil de retardos STDCC rota 3($d=1,26\text{km}$), em azul marcado os multipercursos detectados	73
Figura 5.31 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=1,26\text{km}$) rota 3	73
Figura 5.32a – Perfil de retardos STDCC rota 3($d=1,25\text{km}$) , em azul marcado os multipercursos detectados	74
Figura 5.32b – Perfil de retardos OFDM rota 3($d=1,25\text{km}$) , em azul marcado os multipercursos detectados	74
Figura 5.33a – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=1,25\text{km}$) rota 3	75
Figura 5.33b – Perfil de retardos OFDM com multipercursos válidos ($d=1,25\text{km}$) rota 3	75
Figura 5.34 – Perfil de retardos STDCC rota 3 ($d=1,23\text{km}$), em azul marcado os multipercursos detectados	76
Figura 5.35 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=1,23\text{km}$) rota 3	76
Figura 5.36 – Perfil de retardos STDCC rota 3 ($d=1,21\text{km}$), em azul marcado os multipercursos detectados	77
Figura 5.37 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=1,21\text{km}$) rota 3	77
Figura 5.38 – Perfil de retardos STDCC rota 4 ($d=0,14\text{km}$) , em azul marcado os multipercursos detectados	78
Figura 5.39 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=0,14\text{km}$) rota 4	79
Figura 5.40 – Perfil de retardos STDCC rota 4($d=0,14\text{km}$), em azul marcado os multipercursos detectados	79
Figura 5.41 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=0,14\text{km}$) rota 4	80
Figura 5.42 – Perfil de retardos STDCC rota 4 ($d=0,16\text{km}$), em azul marcado os multipercursos detectados	80
Figura 5.43 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=0,16\text{km}$) rota 4	81
Figura 5.44 – Perfil de retardos STDCC ($d=1,35\text{km}$) rota 4, em azul marcado os multipercursos detectados	81
Figura 5.45 – Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos ($d=1,35\text{km}$) rota 4	82
Figura 5.46 - Perfil de retardos STDCC para rota fixa, em azul marcado os multipercursos detectados	83
Figura 5.47 - Perfil de retardos STDCC com multipercursos válidos rota fixa	83
Figura 5.48 – Função densidade de probabilidade rota 1 (Rayleigh)	85
Figura 5.49 – Função densidade de probabilidade rota 2 (Gaussiana)	86
Figura 5.50 – Função densidade de probabilidade rota 3 (Rayleigh)	87
Figura 5.51 – Função densidade de probabilidade rota 4 (Gaussiana)	88
Figura 5.52 – Função densidade de probabilidade rota FIXA (Gaussiana)	88

Lista de tabelas

Tabela 3.1	34
Tabela 5.1 – Parâmetros de dispersão do canal para a Rota 1	65
Tabela 5.2 – Parâmetros de dispersão do canal para a Rota 2	72
Tabela 5.3 – Parâmetros de dispersão do canal para a Rota 3	78
Tabela 5.4 – Parâmetros de dispersão do canal para a Rota 4	82
Tabela 5.5 – Parâmetros de dispersão do canal para a Rota fixa	84

Lista de Siglas

2G – SEGUNDA GERAÇÃO DE SISTEMAS MÓVEIS CELULARES

3G – TERCEIRA GERAÇÃO DE SISTEMAS MÓVEIS CELULARES

BTS – BASE TRANSMISSOR STATION

CCC – CENTRAL DE COMUTAÇÃO E CONTROLE

CFAR – CONSTANT FALSE ALARM

EM OU TM – ESTAÇÃO MÓVEL OU TERMINAL MÓVEL

ERB – ESTAÇÃO RADIOBASE

IMTS – IMPROVED MOBILE TELEPHONE SYSTEM

ITU – INTERNACIONAL TELECOMMUNICATION UNION

OFDM- ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

PCS – PERSONAL COMMUNICATION SYSTEM

STDCC- SWEEP TIME DELAY CROSS CORRELATION

UIT – UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES

UMTS – UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM