



Deolinda Fontes Cardoso

**Estimação de Canal e Detecção de Sinais em
Sistemas CDMA com Múltiplas Portadoras**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Raimundo Sampaio Neto

Rio de Janeiro
Dezembro de 2008

Deolinda Fontes Cardoso

**Estimação de Canal e Detecção de Sinais em
Sistemas CDMA com Múltiplas Portadoras**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título 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. Raimundo Sampaio Neto

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações — PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Marcelo Roberto Baptista Pereira Luis Jimenez

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Ernesto Leite Pinto

IME

Prof. Paulo Roberto Rosa Lopes Nunes

IME

Prof. Pedro Henrique Gouvêa Coelho

UERJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de Dezembro de 2008

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

Deolinda Fontes Cardoso

Graduou-se em Engenharia Elétrica - Eletrônica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, adquiriu o título de Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal Fluminense. Atualmente é Tecnologista em Ciência e Tecnologia no Centro de Análises de Sistemas Navais - CASNAV da Marinha do Brasil.

Ficha Catalográfica

Cardoso, Deolinda Fontes

Estimação de Canal e Detecção de Sinais em Sistemas CDMA com Múltiplas Portadoras / Deolinda Fontes Cardoso; orientador: Raimundo Sampaio Neto. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2008.

v., 145 f: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Sistema MC CDMA. 3. Sistema MC DS CDMA. 4. Estimação de Canal Assistida e Cega. 5. Decomposição por Valor Singular. 6. Casamento de Correlação. 7. Análise Estatística de Sinais. I. Sampaio-Neto, Raimundo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Dedico esta Tese
a todas as pessoas maravilhosas que me ajudaram a conquistar esta
Bem-Aventura, em especial:
ao melhor Professor que eu tive em toda a minha vida;
a minha querida família;
e aos meus amigos da PUC e do CASNAV-MB.

Agradecimentos

Ao Exmo. Sr. Almirante Bernardo José Pierantoni Gambôa, Diretor do Centro de Análises de Sistemas Navais CASNAV-MB, pelo valioso incentivo, apoio e financiamento para o desenvolvimento desta pesquisa. Foi, realmente, muito importante a sua presença para que eu realizasse com sucesso esta etapa da árdua tripla jornada da minha vida: família-trabalho-estudo. Muito Obrigada por tudo o que o Sr. fez para me ajudar! Eu sempre me lembrarei !

Aos meus queridos Pais, José e Natália, pelo seu amor e por terem me ensinado a ser diligente e trabalhadora para conquistar os meus sonhos.

A minha querida família, meu marido e nossos lindos filhos, pelo amor e compreensão sempre presentes, principalmente, durante as minhas longas ausências nestes quatro anos do meu doutorado. *Mamãe ama vocês!*

Aos meus amigos da PUC, em especial ao Fabian David Backx, um grande amigo muito inteligente e que muito me ajudou nos momentos difíceis. Valeu Fabian, boa sorte para voce!

Aos Professores do Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC - CETUC, do Departamento de Engenharia Elétrica, Professor Ricardo Prada e Maria Alcina, e aos membros da banca, pela gentileza, cordialidade e contribuições para a finalização desta pesquisa.

Por fim, o maior agradecimento ao meu querido Orientador Professor Raimundo Sampaio Neto, que eu tive a felicidade de ter ao meu lado na vida acadêmica. Muitos anos se passaram desde a minha graduação em Engenharia aqui na PUC, mas não conseguiram apagar da minha lembrança a inesquecível presença do Professor Raimundo com suas aulas primorosas e cuidadosamente preparadas para auxiliar os alunos; listas com exercícios inteligentes por ele próprio elaborados; compreensivo e bondoso; sempre disposto a me ajudar, a me estender a mão nas minhas dificuldades, corrigindo os meus exercícios, tirando as minhas inúmeras dúvidas no desenvolvimento dos modelos matemáticos; acreditando em mim e me fazendo acreditar que eu seria capaz. Muito Obrigada por tudo o que voce representa em minha vida: *um Professor brilhante e maravilhoso que guiou, com sabedoria, os meus passos na longa jornada do meu aprendizado. Muito Obrigada, por tudo. Sempre!*

Resumo

Cardoso, Deolinda Fontes; Sampaio-Neto, Raimundo (Orientador). **Estimação de Canal e Detecção de Sinais em Sistemas CDMA com Múltiplas Portadoras**. Rio de Janeiro, 2008. 145p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho investiga o impacto da utilização de técnicas para melhorar a qualidade da estimação de canal em sistemas MC CDMA (*Multi Carrier Code Division Multiple Access*) e MC DS CDMA (*Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access*) em canais seletivos em frequência. Dois tipos de intervalos de guarda são considerados: Prefixo Cíclico CP (*Cyclical Prefix*) e Sufixo de Zeros ZP (*Zero Padding*) escolhidos por serem os mais populares na literatura. Inicialmente, a estimação de canal é assistida por símbolos piloto e baseada no critério de mínimo erro médio quadrático MMSE (*Minimum Mean Square Error*). São descritas expressões analíticas para as estimativas convencionais MMSE e para duas técnicas de melhoria das estimativas: aplicando uma matriz de projeção e aplicando uma restrição inicial. Na estimação cega de canal duas técnicas são estudadas para o enlace reverso do sistema MC DS CDMA, incorporando o intervalo de guarda do tipo ZP. A primeira técnica baseia-se na propriedade de ortogonalidade dos subespaços do sinal e do ruído e no método de potências. Na segunda técnica, a estimação de canal é baseada na técnica de casamento de correlação dos dados recebidos e os estimadores são obtidos por minimização de uma função custo. Essa função é definida como o quadrado da norma de Frobenius da matriz de erro resultante da comparação entre a matriz autocorrelação com a sua estimativa obtida por amostragem média. Os resultados simulados demonstraram que os métodos propostos para os algoritmos de estimação assistida e para os algoritmos de estimação cegos apresentam um compromisso desempenho *versus* complexidade satisfatório, permitem melhorar a qualidade dos respectivos estimadores derivados e revelaram que é possível obter ganho no desempenho de ambos os sistemas.

Palavras-chave

Sistema MC CDMA. Sistema MC DS CDMA. Estimação de Canal Assistida e Cega. Decomposição por Valor Singular. Casamento de Correlação. Análise Estatística de Sinais.

Abstract

Cardoso, Deolinda Fontes; Sampaio-Neto, Raimundo (Advisor). **Channel Estimation and Signal Detection in CDMA Systems with Multi Carrier**. Rio de Janeiro, 2008. 145p. PhD Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work investigates the impact of techniques to improve the channel estimation in Orthogonal Multi Carrier CDMA (*Code Division Multiple Access*) Systems: MC CDMA (*Multi Carrier Code Direct Multiple Access*) and MC DS CDMA (*Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access*) in frequency-selective channels. Two types of guard interval are considered, the zero padded (ZP) and cyclic prefix (CP) the most used in the literature. Initially, the channel estimation is assisted by pilot symbols and based in the minimum mean square error criterium. Analytical expressions for the mean square performance of the conventional estimator and two improved channel estimates: applying a projection matrix and applying a initial restriction are presented. In blind channel estimation two techniques are investigate for ZP MC DS-CDMA systems and alternatives methods are proposed. The first is based in subspace method and power techniques. The second is based in correlation matching and square minimization of the cost function; that is defined by the square Frobenius norm of the error matrix. This error matrix is obtained with matching the correlation matrix against its sample average estimated from the received data. The simulated results revel that the proposed assisted and blind methods achieve good performance with softer computational complexity in both systems.

Keywords

MC CDMA System. MC DS CDMA System. Assisted and Blind Channel Estimation. Singular Value Decomposition. Correlation Matching. Signal Statistics Analysis.

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Trabalhos Relacionados	16
1.2	Objetivo	18
1.3	Contribuições da Pesquisa	20
1.4	Organização do Texto	21
1.5	Notação Adotada	22
1.6	Lista de Abreviações	23
2	Modelo Vetorial dos Sistemas de Transmissão	24
2.1	DS CDMA	24
2.2	OFDM	25
2.3	O Canal de Propagação	26
2.4	Os Sistemas Multiportadoras	29
2.4.1	MC CDMA	29
2.4.2	MC DS CDMA	31
3	Sistema MC CDMA CP: Estimação Assistida, Equalização e Resultados Numéricos	34
3.1	Modelagem Matemática - Enlace Reverso	34
3.1.1	Média da Estimativa de Canal Convencional	36
3.2	Estimativas de Canal Melhoradas	36
3.2.1	Aplicação da Matriz de Projeção	37
3.2.2	Média da Estimativa de Canal Melhorada	38
3.2.3	Minimização com Restrição Inicial	39
3.3	Análise de Desempenho do Erro Médio Quadrático da Estimativa de Canal	40
3.3.1	Perfil Multipercurso do canal	46
3.3.2	Caso particular 1: Códigos Reais Binários	46
3.3.3	Caso Particular 2: Códigos Ortogonais Binários e Sistema com Carga Máxima	47
3.4	Equalização e Detecção	48
3.5	Resultados Numéricos - MC CDMA CP - Enlace Reverso	49
3.6	Considerações Finais	55
3.7	Modelagem Matemática - Enlace Direto	56
3.8	Estimação de Canal Melhorada	57
3.9	Análise de Desempenho do Erro Médio Quadrático da Estimativa de Canal	58
3.10	Estimação com Símbolos e Códigos Pilotos Iguais nos Sinais Piloto	58
3.11	Equalização e Detecção	60
3.12	Resultados Numéricos - MC CDMA CP - Enlace Direto	60
3.13	Considerações Finais	63

4	MC CDMA ZP - Estimação de Canal Assistida, Equalização e Detecção e Resultados Numéricos	64
4.1	Modelagem Matemática - Enlace Reverso	64
4.2	Estimação de Canal Melhorada	65
4.2.1	Aplicação da Matriz de Projeção	65
4.2.2	Minimização com Restrição Inicial	65
4.2.3	Média da Estimativa	66
4.2.4	Caso Particular	67
4.3	Análise de Desempenho do Erro Médio Quadrático da Estimativa do canal	68
4.4	Perfil Multipercurso do Canal	71
4.5	Equalização e Detecção	72
4.6	Resultados Numéricos - MC CDMA ZP - Enlace Reverso	74
4.7	Considerações Finais	76
4.8	Modelagem Matemática - Enlace Direto	78
4.9	Estimativas de Canal Melhoradas	79
4.9.1	Aplicação da Matriz de Projeção	79
4.9.2	Minimização com Restrição Inicial	79
4.9.3	Estimação com Símbolos e Códigos Pilotos Iguais nos Sinais Piloto	79
4.10	Equalização e Detecção	81
4.11	Resultados Numéricos - MC CDMA ZP - Enlace Direto	82
4.12	Considerações Finais	84
5	MC DS CDMA: Estimação Assistida, Equalização e Resultados Numéricos	85
5.1	Modelagem Matemática - Intervalo de Guarda CP - Enlace Reverso	85
5.2	Estimativas de Canal Melhoradas	86
5.2.1	Aplicação da Matriz de Projeção	86
5.3	Modelagem Matemática - Intervalo de Guarda CP - Enlace Direto	87
5.3.1	Estimação com Símbolos e Códigos Pilotos Iguais nos Sinais Piloto	87
5.4	Equalização e Detecção	88
5.5	Resultados Numéricos - MC DS CDMA CP - Enlace Reverso e Enlace Direto	90
5.6	Modelagem Matemática - Intervalo de Guarda ZP - Enlace Reverso	94
5.7	Estimativas de Canal Melhoradas	96
5.7.1	Aplicação de Matriz de Projeção	96
5.7.2	Minimização com Restrição Inicial	96
5.8	Modelagem Matemática - Intervalo de Guarda ZP - Enlace Direto	98
5.8.1	Estimação com Símbolos e Códigos Pilotos Iguais nos Sinais Piloto	98
5.8.2	Equalização e Detecção	100
5.8.3	Resultados Numéricos - MC DS CDMA ZP	100
6	Sistema MC DS CDMA ZP: Estimação Cega Baseada em Subespaço e no Método de Potência	106

6.1	Métodos de Estimação Cega	106
6.2	Estimação Cega Baseada em Subespaço e no Método de Potência	107
6.3	A idéia Chave	109
6.4	Equalização e Detecção	112
6.5	Resultados Numéricos - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso	113
6.6	Considerações Finais	118
7	MC DS CDMA ZP - Estimação Cega de Canal Baseada em Casamento de Correlação	119
7.1	A Técnica de Casamento de Correlação de Dados	119
7.2	Equalização e Detecção	124
7.3	Resultados Numéricos - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso	125
7.4	Considerações Finais	127
8	Conclusões e Trabalhos Futuros	131
8.1	Artigos Publicados em Anais de Congressos Nacionais	133
8.2	Artigos Publicados em Periódicos Nacionais	134
8.3	Artigos Aceitos e Publicados em Simpósios Internacionais	135
	Referências Bibliográficas	136
A	Apêndice	145

Lista de figuras

1.1	Diagrama em Árvore dos Estimadores de Canal Assistidos e Cegos	21
2.1	Enlace Direto	25
2.2	Enlace Reverso	25
2.3	Símbolo OFDM: a) Prefixo Cíclico (CP) b) Sufixo de Zeros <i>Zero Padding (ZP)</i>	26
2.4	Resposta em Frequência do Canal A	27
2.5	Resposta em Frequência do Canal B	28
2.6	Resposta em Frequência do Canal B <i>versus</i> Índice da Sub-portadora	28
2.7	Resposta em Frequência do Canal C	29
2.8	Diagrama em Blocos do Sistema MC CDMA	30
2.9	Diagrama em Blocos do Sistema MC DS CDMA	32
3.1	Limitantes Inferior e Superior do Erro Médio Quadrático Normalizado Melhorado e Convencional e Fator de Melhoria do Ruído <i>versus</i> Número de Usuários (K)- MC CDMA CP - Enlace Reverso	50
3.2	Limitantes Inferior e Superior do Erro Médio Quadrático Normalizado Melhorado e Convencional e Fator de Melhoria do Ruído <i>versus</i> Número de Usuários (K) - MC CDMA CP - Enlace Reverso	51
3.3	Limitantes Inferior e Superior do Fator de Redução da Parcela da IMA e Fator de Redução da Parcela do Ruído <i>versus</i> Número de Usuários (K) - MC CDMA CP - Enlace Reverso	52
3.4	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (b) Número de Usuários (K) - MC CDMA CP - Enlace Reverso	52
3.5	Desempenho da Taxa de Erro de Bit <i>versus</i> E_b/N_0 - MC CDMA CP - Enlace Reverso	53
3.6	Fator de Redução da Parcela da IMA <i>versus</i> Carga do Sistema (K/M) - MC CDMA CP - Enlace Reverso	54
3.7	Desempenho do NMSE <i>versus</i> (a) E_b/N_o (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC CDMA CP - Enlace Reverso	55
3.8	Desempenho da Taxa de Erro de Bit <i>versus</i> E_b/N_o (dB) - Equalização MMSE - MC CDMA CP - Enlace Reverso	56
3.9	Desempenho Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_B/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - Pilotos Ortogonais e Pilotos Iguais - MC CDMA CP - Canal B Randômico - Enlace Direto	61
3.10	Desempenho BER <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - Símbolos Pilotos Ortogonais e Não-Ortogonais - MC CDMA CP - Canal B Randômico - Enlace Direto	62

3.11	Desempenho BER <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - Simbolos Piloto Ortogonais e Piloto Iguais - MC CDMA CP - Canal B Randômico - Enlace Direto	63
4.1	Limitantes Superiores e Inferiores dos Erros Médios Quadráticos Normalizados (dB) <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC CDMA ZP - Enlace Reverso	75
4.2	Fatores de Redução da Parcela da IMA e da Parcela do Ruído Aditivo <i>versus</i> Número de Usuários (K) - MC CDMA ZP - Enlace Reverso	75
4.3	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado (dB) <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC CDMA ZP - Enlace Reverso	76
4.4	Desempenho da Taxa de Erro de Bit <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - MC CDMA ZP - Enlace reverso	77
4.5	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado (dB) <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC CDMA ZP - Enlace Direto	83
4.6	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado (dB) <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC CDMA ZP - Enlace Direto	84
5.1	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC DS CDMA CP - Canal C Randômico - Enlace Reverso	91
5.2	Desempenho da Taxa de Erro de Bit <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - MC CDMA CP e MC DS CDMA CP - Canal C Randômico - Enlace Reverso $K = 16$	92
5.3	Desempenho da Taxa de Erro de Bit <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - MC CDMA CP e MC DS CDMA CP - Canal C Randômico - Enlace Reverso $K = 32$	92
5.4	Desempenho de Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K): MC DS CDMA CP Pilotos Iguais e Ortogonais - Canal B Randômico - Enlace Direto	93
5.5	Desempenho da Taxa de Erro de Bit <i>versus</i> E_b/N_0 (dB): MC DS CDMA CP e MC CDMA CP - Pilotos Iguais - Canal B Randômico - Enlace Direto	94
5.6	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (b) Número de Usuários (K) - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso	101
5.7	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Direto	102
5.8	Desempenho do Erro Médio Quadrático Normalizado <i>versus</i> (a) E_b/N_0 (dB) (b) Número de Usuários (K) - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Direto	102

5.9	Desempenho da Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> E_b/N_0 - MC CDMA CP e MC DS CDMA CP - Canal B Randômico - Enlace Reverso	103
5.10	Desempenho da Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> E_b/N_0 - MC DS CDMA CP e MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso	103
5.11	Desempenho da Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - MC DS CDMA ZP e MC CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso	104
5.12	Desempenho da Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - MC DS CDMA ZP e MC CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Direto e pilotos Iguais	105
6.1	Desempenho de Erro Médio Quadrático <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos Transmitidos N_B - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 10$ dB	114
6.2	Desempenho de Erro Médio Quadrático <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos Transmitidos N_B - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 15$ dB	115
6.3	Desempenho de Erro Médio Quadrático <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos Transmitidos N_B - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 20$ dB	116
6.4	Desempenho de Erro Médio Quadrático <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos Transmitidos N_B - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 25$ dB	116
6.5	Desempenho de Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> Razão Sinal Ruído E_b/N_0 (dB) - Equalização ZF - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso	117
6.6	Desempenho de Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> Razão Sinal Ruído E_b/N_0 (dB) - Equalização MMSE - MC DS CDMA ZP - Canal B Randômico - Enlace Reverso	118
7.1	Desempenho MSE <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos N_B - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 5$ dB	126
7.2	Desempenho MSE <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos N_B - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 10$ dB	127
7.3	Desempenho MSE <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos N_B - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 15$ dB	128
7.4	Desempenho MSE <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos N_B - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso - $E_b/N_0 = 20$ dB	128
7.5	Desempenho BER da Taxa de Erro de Bits (BER) <i>versus</i> E_b/N_0 (dB) - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso	129
7.6	Desempenho da Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos N_B - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso	129
7.7	Desempenho da Taxa de Erro de Bit (BER) <i>versus</i> Número de Blocos de Símbolos N_B - MC DS CDMA ZP - Enlace Reverso	130

Lista de tabelas

3.1	MC CDMA CP Enlace Reverso - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	48
3.2	MC CDMA CP Enlace Direto - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	60
4.1	MC CDMA ZP Enlace Reverso - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	73
4.2	MC CDMA ZP Enlace Direto - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	81
5.1	MC DS CDMA CP Enlace Reverso - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	87
5.2	MC DS CDMA CP Enlace Direto - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	88
5.3	MC DS CDMA ZP Enlace Reverso - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	98
5.4	MC DS CDMA ZP Enlace Direto - Erro Médio Quadrático Normalizado dos Estimadores Assistidos de Canal	99