

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - EPUSP

Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle - PTC

Área de Sistemas Eletrônicos

Canceladores de Interferência Multiusuário

Aplicados a Sistemas DS/CDMA

de Múltipla Taxa

Taufik Abrão

São Paulo, Fevereiro de 2001

Taufik Abrão

Canceladores de Interferência Multiusuário

Aplicados a Sistemas DS/CDMA

de Múltipla Taxa

Tese de Doutorado submetida à ESCOLA POLITÉCNICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Eletrônicos

Orientador: Prof. Dr. Paul Jean Etienne Jeszensky

São Paulo, Fevereiro de 2001

Abrão, Taufik

Canceladores de Interferência Multiusuário Aplicados a Sistemas DS/CDMA de Múltipla Taxa
São Paulo, março de 2001

pp. 378

Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle - Área de Sistemas Eletrônicos

1. Telefonia Celular; 2. CDMA de Terceira Geração; 3. Detecção Multiusuário;
4. Canceladores de Interferência Subtrativos; 5. Múltipla Taxa

Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle.
Área de Sistemas Eletrônicos

Resumo

Este trabalho foi realizado concomitante ao processo de padronização dos sistemas de comunicação móveis de terceira geração (3G). O universo de investigação deste trabalho aborda esquemas de múltipla taxa em associação a detectores multiusuário (MuD) visando atender de forma eficiente as distintas exigências de serviços em sistemas móveis 3G. Este trabalho investiga novas estruturas de detecção MuD para sistemas de comunicação móveis DS-CDMA (*Direct Sequence – Code Division Multiple Access*) em canais AWGN e com desvanecimento Rayleigh Plano combinando Canceladores de Interferência Subtrativos (IC) Não-Lineares a esquemas de acesso de múltipla taxa do tipo Ganho de Processamento Múltiplo (MPG) e Códigos Múltiplos (MC).

As contribuições originais deste trabalho relacionado ao estudo de novas estruturas receptoras multiusuário de alta capacidade e desempenho em ambiente multitaxa podem ser sintetizadas a seguir:

- proposta e determinação de desempenho de cinco novas arquiteturas de detectores multiusuário baseados no cancelamento de interferência paralelo e híbrido multiestágio capazes de detectar sinais DS-CDMA com distintas taxas de informação;
- desenvolvimento de um modelo analítico para a determinação do desempenho de Canceladores de Interferência Paralelo (PIC) Parcial Multiestágio com decisor do tipo *hard* e *tanh* em canais AWGN e Rayleigh Plano;
- comparação de desempenho de detectores PIC multiestágio lineares e não-lineares de taxa única em canais AWGN e Rayleigh Plano a partir de extensa simulação Monte Carlo.

Abstract

This work was accomplished concomitant with the standardization process for third generation mobile systems (3G). That being so naturally the investigation universe includes Multi-user Detection (MuD) in conjunction with multirate schemes seeking to assist in an efficient way the different demands of services in 3G mobile systems.

This work investigates new MuD structures for mobile DS-CDMA (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) communication systems in AWGN (Additive White Gaussian Noise) and flat fading Rayleigh channels combining no linear Interference Cancellers (IC) to two types of multirate access schemes: Multiple Processing Gain (MPG) and Multiple Codes (MC).

The original contributions of this work related to new MuD structures for high capacity acting in a multirate scenario can be synthesized as:

- Proposal and performance determination for five new MuD structures based on multistage parallel and hybrid interference cancellation schemes which detect DS-CDMA signals with different information rates;
- Development of an analytical model for multistage Parallel Interference Cancellers (PIC) performance determination with hard and Tanh decision detectors in AWGN and flat fading Rayleigh channels;
- Comparison of linear and no linear decision detectors for multistage PIC based receivers in a single rate scenario in AWGN and flat fading Rayleigh channels from extensive Monte Carlo simulation.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Paul Jean Jeszensky pela sua excepcional compreensão, apoio, orientação e dedicação manifestados durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES/PICDT, pelo apoio financeiro prestado nos dois últimos anos da elaboração deste trabalho.

Conteúdo

Resumo	iv
Abstract	v
Agradecimentos	vi
1 Introdução	1
1.1 Sinopse dos Capítulos	12
2 Revisão sobre Detectores Multiusuário	14
2.1 Modelo Discreto para Sistema DS/CDMA	15
2.1.1 Transmissão	16
2.1.2 Modelo para DS-CDMA Síncrono (S-CDMA) em canal AWGN	17
2.1.3 Modelo para DS-CDMA Assíncrono (A-CDMA) em canal AWGN	20
2.1.4 Canal Rayleigh	23
2.2 Medidas de Desempenho	25
2.2.1 Eficiência Assintótica Multiusuário, AME	25
2.2.2 Resistência ao Efeito Near-Far, NFRes	28
2.2.3 Probabilidade de Erro de Bit, P_e	29
2.2.4 Robustez Near-Far, Υ	30
2.3 Detectores Multiusuário Lineares	34
2.3.1 Convencional	35
2.3.2 Decorrelator	37
2.3.3 Detector Multiusuário Linear de Mínimo Erro Quadrático Médio (MMSE)	39

2.3.4	Desempenho para o Decorrelator e MMSE: AME, NFres e BER	41
2.4	Canceladores de Interferência Subtrativos	52
2.4.1	Canceladores de Interferência Sucessivo	55
2.4.2	Decisores e Formas de Cancelamento em IC	64
2.4.3	Cancelamento de Interferência com Decisão Realimentada (ZF-DF ou DDF) ...	69
2.4.4	Canceladores de Interferência Paralelo	76
2.4.5	Cancelamento de Interferência de Grupo (GIC) ou Híbrido (HIC)	120
2.4.6	Eficiência Assintótica e Resistência ao Efeito <i>Near-Far</i> em IC	124
2.5	Estimativa de Parâmetros em MuD	126
2.5.1	Robustez dos Detectores MuD - Influência da estimativa dos Parâmetros no Desempenho	127
2.5.2	Estimativas de Parâmetros em IC	128
2.6	Canal com Desvanecimento	132
2.6.1	Causas do Desvanecimento	132
2.6.2	Tempo e Banda de Coerência	134
2.6.3	Canal com Desvanecimento Plano em Frequência	136
2.6.4	Canal com Desvanecimento Seletivo em Frequência	137
2.6.5	Implementação de Canais com Desvanecimento Rayleigh	140
2.6.6	Receptor Convencional RAKE	152

3 Desempenho de Canceladores de Interferência Paralelos 155

3.1	Comparação de Desempenho de Detectores MuD–IC em canal AWGN	156
3.1.1	Resultados de Simulação MCS em canal AWGN e Recepção Coerente BPSK .	157
3.2	Métodos para a Análise de Sistemas com Desvanecimento	179
3.2.1	Ordenação Estatística	179
3.2.2	Análise Unificada	180
3.3	Desempenho Analítico para Canceladores de Interferência Paralelo Multiestágio	191
3.3.1	Cancelamento Paralelo Multiestágio para a Interferência Cocanal	191
3.3.2	BER Analítico para PIC–HD e PIC–SD Tanh Multiestágio	194

3.3.3	Variância para o Erro de Bit Cancelado	197
3.3.4	Minimizando a Variância do Erro de Bit Cancelado	200

4 Sistemas DS/CDMA de Múltipla Taxa 213

4.1	Esquema de Múltipla Taxa por Código Múltiplo, MC	214
4.1.1	Esquema Combinação Paralela (PC/SS)	218
4.2	Esquema de Múltipla Taxa de Modulação Mista, MM	218
4.3	Esquema de Múltipla Taxa de Comprimento de Seqüência Variável, VSL, MPG ou VPG	220
4.4	Esquema de Múltipla Taxa de Chipping Variável, VCR	224
4.4.1	Taxa de Chipping Variável com Frequência Deslocada, VCRFS	225
4.4.2	Taxa de Chipping Variável com separação de usuários empregando filtros Wiener, VCR-Wiener	226
4.5	Códigos de Canalização Ortogonais em esquemas Multitaxa MC e MPG	228
4.5.1	Códigos Ortogonais de Walsh–Hadamard	228
4.5.2	Códigos de Canalização OVSF	229
4.6	Seqüências de Espalhamento para Sistemas 3G Multitaxa – Algumas Considerações ..	235
4.6.1	Seqüências com Comprimento Potência de 2 para 3G	237
4.7	Comparação de Esquemas de Acesso de Múltipla Taxa	245

5 Novos Esquemas Multitaxa com Detecção Multiusuário 248

5.1	Parâmetros de Simulação MCS	250
5.2	Multitaxa MC associado ao Cancelamento de Interferência Paralelo	257
5.2.1	MC–PIC Tanh com usuários de taxa R, 2R e 4R em canal AWGN Assíncrono ..	259
5.3	Multitaxa MPG associado ao Cancelamento de Interferência Paralelo Ponderado por Grupo	265
5.3.1	MPG–PICw Tanh com usuários de taxa R, 2R e 4R em canal AWGN Assíncrono	269
5.4	Multitaxa MPG associado ao Cancelamento de Interferência Híbrido	275
5.4.1	MPG–GSIC com detector PIC na detecção de Grupo	276

5.5	Multitaxa Híbrido MC/MPG com Cancelamento de Interferência Híbrido (Série/Paralelo).....	286
5.5.1	MC/MPG–GSIC Tanh - Resultados de Simulação para Canal Assíncrono AWGN	289
5.6	Multitaxa MC com Cancelamento de Interferência Híbrido	296
5.6.1	Resultados de Simulação MCS em canal AWGN Assíncrono	298
5.7	Discussão	305
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	309
A	Acronismos e Abreviações	313
B	Definição dos Principais Símbolos	318
C	Notação	321
D	Matriz Pseudo Inversa	323
E	Propriedades da Matriz de Correlação em um Sistema DS/CDMA	325
F	Avaliação de Desempenho via Simulação Monte Carlo	328
G	Procedimentos de Simulação	332
G.1	Canal AWGN	332
G.2	Canal com Desvanecimento Rayleigh Lento	335
H	Efeito do número de Amostra por Chip, N_s, sobre o Desempenho MCS	338
I	Síntese das Rotinas Implementadas em MatLab	340
I.1	Rotinas Avançadas	340
I.1.1	Multitaxa MPG e MC associados aos detectores MuD–IC Tanh (MCS)	340
I.2	Rotinas Básicas	345
I.2.1	Modelo de Jakes Modificado para Desvanecimento Multipercurso	345

I.2.2	Funções para Desempenho de Receptores MuD–IC (MCS)	346
I.2.3	Funções e Scripts para Receptores Convencional e MuD Lineares	346
I.2.4	Seqüências de Espalhamento – Propriedades de Correlação	348
I.2.5	Funções Básicas	349

Bibliografia

351

Lista de Tabelas

1.1	Requisitos para detectores multiusuário	9
1.2	Comparação da complexidade computacional dos principais detectores multiusuário.	10
1.3	Perda Capacidade Sistema Convencional para $E_b/N_o=12\text{dB}$ e $\text{BER}=0,001$	11
2.1	Resistência ao efeito <i>near-far</i> para o Decorrelator Clássico e <i>One-Shot_1T</i>	49
2.2	Exemplo de convergência da NFRes quando a janela de observação cresce em um Decorrelator assíncrono truncado.....	50
2.3	Momentos para os SCF	99
2.4	Critério adaptativo para a determinação de P/S baseado nas disparidades de amplitudes recebidas	124
2.5	Classificação para canal com desvanecimento	136
2.6	Três perfis atraso-potência para canal com desvanecimento multipercurso	140
3.1	Principais parâmetros de simulação utilizados.....	158
3.2	Número de bits gerados em uma realização Monte Carlo e canal AWGN em função do carregamento do sistema, L , e de E_b/N_o	158
4.1	Características das seqüências de espalhamento no padrão IS-95 e W-CDMA.....	235
4.2	Características das principais famílias de códigos de espalhamento determinísticas	237
4.3	Percentagens de ocorrências das correlações cruzadas para algumas famílias de Gold.....	241
4.4	Comparação de alguns requisitos de esquemas multitaxa.....	245
5.1	Principais parâmetros de simulação Monte Carlo para sistemas multitaxa MPG e MC com detecção MuD PIC multiestágio e G-SIC.....	251
5.2	Especificação para as taxas de bits dos usuários multitaxa MPG e MC; conjuntos de seqüências de espalhamento PN ou Gold Estendido com $N=32$	252
5.3	Configurações para controle imperfeito de potência (NFR) empregadas nas simulações MCS de sistemas multitaxa MPG e MC e detecção IC	253

Lista de Figuras

1.1	Classificação geral para detectores single-user (SuD) e multiusuário (MuD), lineares e não lineares.	6
2.1	Modelo para o Transmissor DS/CDMA (As)Síncrono, modulação BPSK e QPSK. K = número de usuários ativos no sistema. J = número de vetores de sinais que compõem o sinal CDMA recebido.	16
2.2	Modelo genérico em banda base equivalente discreto para um sistema DS-CDMA (a) Transmissor equivalente; (b) Canal; (c) Receptor. Para detecção multiusuário linear, \mathbf{T} representa a matriz de transformação linear.	19
2.3	(a) Mensagem Finita transmitida equivalente síncrona; (b) Correlações para 2 usuários assíncronos e seqs de Gold7. Janela de observação $\mathcal{M} = 1T$	21
2.4	AME_1 para os detectores Convencional, Decorrelator e Ótimo em função da amplitude relativa do usuário interferente com $ \rho_{12} = 0,3$, $ \rho_{21} = 0,5$ e $\rho_{sinc} = 0,387$; canal (as-)síncrono.	27
2.5	\overline{BER}_1 para os detectores Convencional, Decorrelator e MMSE síncronos; sinais equicorrelacionados ($\rho_{sinc} = 0,12$) e de mesma energia para os casos: a) $K = 9$ usuários; b) $K = 20$ usuários.	30
2.6	BER para os detectores Convencional, Decorrelator, MMSE e Ótimo; dois usuários síncronos com desajuste de potência $NFR \in [-10, 10]$ dB e correlação cruzada $\rho = 0,8$; $SNR_1 = 10$ dB.	31
2.7	Robustez <i>near-far</i> para os detectores PIC-HD Parcial de 3 estágios com $\xi = [0,7; 0,8; 0,9]$ e Convencional em um canal síncrono, Randz31, $E_b/N_0 = 8$ dB e estimação perfeita para A, τ e ϕ .	33
2.8	Robustez <i>near-far</i> $K/2$ para os detectores MuD PIC-HD Parcial síncrono de 3 estágios e Convencional; demais parâmetros idênticos aos da figura 2.7.	33
2.9	Duas implementações para o detector Convencional em canal assíncrono.	37
2.10	Detector de descorrelação.	38
2.11	Limites superior ($-\star-$) e inferior ($-$) para o desempenho <i>near-far</i> do MMSE considerando seqüências randômicas.	43
2.12	Desempenho médio sobre todos os usuários ativos para receptores Convencional, Decorrelator e MMSE síncronos com população crescente. Controle perfeito de potência recebida; $E_b/N_0 = 8$ dB e $N = 15$; seqüências de Gold e Randômicas.	44
2.13	Ambiente com desajuste de potência para os receptores Convencional, Decorrelator e MMSE síncronos. $E_b/N_0 = 8$ dB para todos os usuários, exceto o último com +9dB em relação aos demais. Desempenho médio sobre os $K - 1$ usuários de mesma potência; seqüências de Gold e Randômicas, $N = 15$.	44
2.14	Correlações e energias parciais para 5 usuários; atrasos discretos $[0; 1; 2; 3; 4]T_c$ e janelas de observação distintas: (a) $\mathcal{M} = 1$ bit e Gold7 para o Decorrelator <i>One-Shot-1T</i> ; (b) $\mathcal{M} = 5$ bits e seqüências com $N = 7$.	49
2.15	Cancelamento de interferência multiusuário adaptativo via ponderação baseada em MOE.	55
2.16	Etapas de um Cancelamento de Interferência Sucessivo.	57

2.17	k -ésimo cancelamento em banda base para um SIC com decisões <i>soft</i> (SIC-SD) e esquema pré-deteccção; para a primeira iteração, $M = K$	60
2.18	k -ésimo cancelamento em um cancelador de interferência sucessivo com pré-deteccção: (a) decisor <i>hard</i> , SIC-HD; (b) decisor <i>soft</i> SIC-MF.....	61
2.19	Decisor <i>hard</i> e algumas funções para decisores <i>soft</i>	65
2.20	Diagramas para a reconstrução do k -ésimo sinal em deteção PIC Total e Parcial, combinados a decisores do tipo <i>hard</i> e <i>soft</i>	67
2.21	Diagrama para algoritmo de deteção de bit em sistema PIC-HD assíncrono considerando decisão de bit com e sem realimentação. São mostrados a relação temporal de deteção de bit para dois estágios PIC nos modos: a) decisão de bit realimentada; b) básico.....	68
2.22	Receptor de cancelamento de interferência subtrativo do tipo ZF-DF, K usuários síncronos.....	70
2.23	Probabilidade de erro de bit para o DDF, 2 usuários, $R_{2,1} = 0, 7$; comparação com o Decorrelator ideal e o limite <i>single user</i>	76
2.24	Esquema genérico para um PIC Total (Clássico) ou Parcial indicando a reconstrução de sinais do tipo pré-deteccção <i>soft</i> e <i>hard</i> ; K usuários assíncronos e s estágios.....	77
2.25	Desempenho para o estágio inicial (MFB) de um PIC-SD Linear com ganho de processamento $N = 15$ e 31 . Controle perfeito de potência. (a) em função de $\frac{E_b}{N_0}$; (b) em função do número de usuários, K	84
2.26	Efeito do termo polarização sobre a média da métrica de decisão no estágio cancelador de um PIC-SD Linear Ilimitado; controle potência de perfeito.....	87
2.27	BER analítico $\times \frac{E_b}{N_0}$ para um PIC-SD Linear com até 4 estágios em canal AWGN e controle perfeito de potência. $K = 32$ usuários e $N = 128$	89
2.28	E_b/N_0 Mínimo em função do número de usuários para se obter cancelamento de interferência PIC-SD Linear benéfico. Diversos ganhos de processamento, N	90
2.29	Fator de cancelamento de interferência parcial para um PIC-SD Linear versus número de usuários ativos, K , e $\frac{E_b}{N_0}$, com $N = 31$ e $NFR = 0$	97
2.30	PIC-SD Linear Ilimitado síncrono em canal AWGN com $NFR = 0$: (a) efeito do termo polarização sobre a média da métrica de decisão no estágio cancelador; (b) ξ^{Opt} para distintos carregamentos e $\frac{E_b}{N_0}$	98
2.31	Distintos ξ para um PIC-SD Linear Ilimitado: (a) BER após o estágio cancelador. (b) função distribuição de probabilidade para $Z^{(1)}$	99
2.32	Cancelador de Interferência Paralelo Pós-Deteccção do tipo SD Linear empregando aproximação de primeira ordem para \mathbf{R}^{-1}	100
2.33	Representação matricial para o s -ésimo estágio de um PIC-SD Linear Ilimitado: a) Total; b) Parcial.	102
2.34	$BER_1 \times$ número de estágios em um PIC-SD Linear Total; comparação com Decorrelator e MMSE síncronos; $K = 6$ us e seqüências Rndz31 em canal AWGN.	103

2.35	$BER_1 \times$ razão <i>near-far</i> em um PIC-SD Linear Total; comparação com Decorrelator e MMSE síncronos; $K = 6$ us e seqs Rndz31 em canal AWGN. $NFR = [-10, \dots, +20]$ dB para todos os interferentes.....	104
2.36	Desempenho de um PIC Linear Parcial com pesos otimizados porém não ordenados em função do número de estágios, s	105
2.37	Desempenho para PIC Linear Parcial com pesos otimizados, porém não ordenados. Autovalores para a matriz de correlação desnormalizada \mathbf{R} , $\lambda = (0.3436; 0.2688; 0.2576; 0.4137; 0.5006; 0.6088; 0.7747; 1.0547; 1.3056; 1.3831; 1.5591; 2.1637; 2.3660)$. $\alpha = \sigma^2$	106
2.38	Desempenho para um PIC Linear Parcial com pesos otimizados e ordenados. Autovalores para \mathbf{R} : $\lambda = (0.9323; 0.7845; 0.7086; 0.5605; 0.4012; 0.3126; 0.2418; 1.4566; 1.5406; 1.6661; 2.3954)$. $\alpha = \sigma^2$	108
2.39	Esquema genérico para um PIC pós-deteção assíncrono de S -estágios com dispositivo de decisão $\tanh(\cdot)$; mostra-se apenas a deteção para o 1º usuário.	110
2.40	Relações temporais para as correlações parciais do k -ésimo usuário em um PIC (as-)síncrono pós-deteção.	112
2.41	Cancelador de Interferência Paralelo <i>Soft Decision</i> (PIC-SD) pré-deteção genérico de 1 estágio para canal com desvanecimento Rayleigh Plano; complexidade de implementação: $\mathcal{O}(K^2)/stg.$.	115
2.42	Implementação alternativa (complexidade $\mathcal{O}(K)/stg$) para o Cancelador de Interferência Paralelo <i>Soft Decision</i> (PIC-SD) pré-deteção genérico de 1 estágio, canal com desvanecimento Rayleigh Plano.	116
2.43	Diagrama em blocos de um PIC multiestágio com esquema de pré-deteção e geração de sinal residual no estágio subtrator; complexidade $\mathcal{O}(K)/stg$	117
2.44	Diagrama em blocos para um cancelador de interferência seletivo <i>One-Shot</i> com receptor RAKE no 1º estágio e limiar de decisão Th para a determinação de sinais confiáveis.	119
2.45	Princípio de cancelamento híbrido (ou de grupo) para K sinais sendo que P sinais são detectados de modo paralelo (PIC), reconstituídos e cancelados do conjunto inicial, resultando em S etapas de cancelamento serial de grupo.	123
2.46	Estimativas típicas para as amplitudes como média temporal de amostras à saída do MFB. $K = 6$ usuários, Randz31, <i>frame</i> de até $J = 70$ bits, $E_b/N_0 = 8dB$ e $NFR = 0$; sistema DS/CDMA síncrono em canal AWGN.	131
2.47	Estimativas típicas para as amplitudes como média temporal de amostras à saída do MFB para sistema altamente carregado, $K = 30$ usuários, Randz31, <i>frame</i> de até $J = 100$ bits; canal AWGN ruidoso com $\frac{E_b}{N_0} = 4dB$; controle perfeito de potência e sistema CDMA síncrono.	131
2.48	Modelos para canal Seletivo em frequência. k -ésimo usuário.	139
2.49	Distribuição para amplitude e fase para coeficientes de um canal com desvanecimento Rayleigh implementado a partir modelo de Jakes modificado. $N_d = 16$ osciladores. $F_{Doppler} = 80Hz$	144
2.50	Autocorrelação e Espectro de Potência (banda base) para um sinal desvanecido simulado a partir do modelo de Jakes modificado.	145

2.51	Quatro conjuntos de amostras Rayleigh não correlacionadas geradas a partir do modelo de Jakes modificado e funções de Walsh-Hadamard. $f_{Doppler} = 80Hz$. e $N_d = 16$ osciladores.	146
2.52	Coefficientes para canais Rayleigh de 2 raios com energias $\overline{C_1^2} = -3,71dB$ (direto) e $\overline{C_2^2} = -9,1dB$, utilizando modelo de Jakes modificado com raios independentes e não correlacionados; mostram-se os perfis para canal de pedestre (5Km/h) e veicular (120Km/h).	147
2.53	Histogramas para 10.000 amostras das variáveis randômicas C_k (coeficientes de canal Rayleigh) e n (AWGN).	149
2.54	Geração dos coeficientes de canal Rayleigh utilizando Gerador de Número Randômico.	150
2.55	Diagrama em blocos para a geração de amostras dos coeficientes de canal com distribuição Rayleigh baseada no método de Smith-Gans.	151
2.56	Receptor Convencional RAKE para o k -ésimo usuário e canais com desvanecimento multipercurso.	153
3.1	Primeiro e terceiro estágios de um PIC-HD Total e Parcial síncronos com $\xi = [0, 6; 0, 8; 1]$, RNDZ100 e estimação perfeita para as amplitudes.	161
3.2	Primeiro e terceiro estágios para um PIC-SD Total e Parcial síncronos com $\xi_{SD} = [0, 3; 0, 8; 1]$ e RNDZ100.	161
3.3	PIC Tanh Total e Parcial síncronos de 3 estágios com seqüências RNDZ100 com ξ função do número de usuários e estágios; estimativas para amplitudes, atrasos e fases supostas conhecidas e variâncias estimadas; $E_b/N_0 = 9dB$	162
3.4	Terceiro estágio de um PIC Tanh, HD e SD Total e Parcial síncronos com RNDZ100; estimativas para amplitudes, atrasos e fases supostas conhecidas e variâncias estimadas; $E_b/N_0 = 9dB$. $NFR = 0$	162
3.5	PIC Total e Parcial HD síncrono de 3 estágios; seqüências RNDZ100 e $K = 80$ us; $SCF_{HD} = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$; amplitudes estimadas como média temporal à saída do MFB.	163
3.6	PIC Total e Parcial SD síncrono de 3 estágios; RNDZ100, $K = 80$ us e $\xi_{SD} = [0, 4; 0, 8; 0, 9]$	164
3.7	PIC Total e Parcial Tanh Síncrono de 3 estágios; Seq. RNDZ100, $K = 80$ us. e $\xi_{Tanh} = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$; amplitudes estimadas como média temporal à saída do MFB.	164
3.8	Terceiro estágio de um PIC Parcial Tanh, HD e SD síncronos, RNDZ100 e $K = 80$ us. $\xi_{HD;TH} = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$, $\xi_{SD} = [0, 4; 0, 8; 0, 9]$ e amplitudes estimadas como média temporal à saída do MFB.	165
3.9	PIC de 3 estágios HD Total e Parcial assíncronos, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e RNDZ31; controle perfeito de potência; $E_b/N_0 = 8dB$; atrasos discretos e uniformemente distribuídos no $\tau_k \in [0; T - \frac{T_c}{3}]$; frame de 70 bits.	166
3.10	PIC-SD Total e Parcial de 3 estágios assíncrono, $\xi = [0, 4; 0, 8; 0, 9]$ e RNDZ31. $E_b/N_0 = 8dB$; controle perfeito de potência, número de amostras por chip, $N_s = 3$	167
3.11	PIC 3 stg. Tanh Total e Parcial Assíncronos, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e RNDZ31; estimativas para as variâncias de ruído residual total a cada estágio.	167

3.12	Terceiro estágio para PIC SD e HD, Total e Parcial, assíncronos, $\xi_{HD;TH} = [0.7; 0.8; 0.9]$; $\xi_{SD} = [0.4; 0.8; 0.9]$ e RNDZ31. variâncias do ruído residual total para o PIC Tanh estimadas a cada estágio. $E_b/N_0 = 8dB$	168
3.13	Desempenhos para um PIC–HD Assíncrono, Total e Parcial de 3 estágios com $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$; $K = 31$ usuários, $NFR = 0dB$ e GOLD31 com atrasos relativos discretos e uniformemente distribuidos em $\tau_k \in [0; T - T_c/3]$	169
3.14	PIC–Tanh assíncrono, Total e Parcial de 3 estágios com $\xi = [0.7; 0.8; 0.9]$; $K = 31$ usuários, $NFR = 0dB$ e GOLD31 com atrasos relativos discretos e uniformemente distribuidos em $\tau_k \in [0; T - T_c/3]$	169
3.15	Terceiro estágio de PIC assíncronos, Total e Parcial com $\xi_{HD;TH} = [0.7; 0.8; 0.9]$ e $\xi_{SD} = [0.4; 0.8; 0.9]$; GOLD31 com atrasos relativos discretos e uniformemente distribuidos em $\tau_k \in [0; T - T_c/3]$; sistema altamente carregado, $L = 100\%$ e $NFR = 0dB$	170
3.16	1º e 3º estágios PIC–HD Total e Parcial assíncronos com atrasos discretos em T_c e uniformemente distribuídos no $[0; N - 1]$; GOLD31, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e $NFR = 0$	171
3.17	PIC Tanh Total e Parcial assíncronos de 3 estágios com atrasos discretos em T_c e uniformemente distribuídos no $[0; N - 1]$; GOLD31, $\xi = [0.7; 0.8; 0.9]$ e $E_b/N_0 = 8dB$; variância do ruído residual total estimada como médias temporais de J amostras à saída do MFB, a cada estágio s . .	171
3.18	1º e 3º estágios de um PIC HD Total e Parcial assíncronos com atrasos discretos em T_c e uniformemente distribuídos no $[0; N - 1]$; RNDZ31 e $\xi = [0.7; 0.8; 0.9]$. $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$. Controle perfeito de potência.	172
3.19	PIC Tanh Total e Parcial com atrasos discretos em T_c e uniformemente distribuídos no $[0; N - 1]$; RNDZ31, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$; variância do ruído residual total estimada a cada estágio como médias temporais de $J = 50$ amostras à saída do MFB; $NFR = 0$	173
3.20	PIC–HD de 3 estágios assíncrono com atrasos discretos em T_c e uniformemente distribuídos no $[0; N - 1]$; seqüências RNDZ31; $\frac{K}{N} = 100\%$ e $NFR = 0dB$. Amplitudes estimadas como média temporal de amostras à saída do MFB. $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	174
3.21	PIC–Tanh de 3 estágios com atrasos discretos em T_c e uniformemente distribuídos no $[0; N - 1]$; seqüências RNDZ31, $\frac{K}{N} = 100\%$ e $NFR = 0$. Amplitudes estimadas como média temporal de amostras à saída do MFB; $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	174
3.22	Desempenho Médio para $(K - 1)$ usuários de mesma potência $E_b/N_0 = 8dB$ em um PIC Parcial SD, HD e Tanh de 3 estágios sob efeito <i>near-far</i> de um único interferente. $Load = [\frac{6}{31}; \frac{24}{31}]$; canal síncrono e RNDZ31.	175
3.23	Desempenho médio sobre $K/2$ usuários para o 3º estágio de um PIC–HD Parcial assíncrono sob efeito <i>near-far</i> de $K/2$ us; $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$, GOLD31 com atrasos discretos e uniformemente distribuidos em $[0; T - \frac{T_c}{N_s}]$, com $N_s = 3$; carregamento variável.	176
3.24	Desempenho médio sobre $K/2$ usuários para o 3º estágio de um PIC–HD Total assíncrono sob efeito <i>near-far</i> de $K/2$ us; $E_b/N_0 = 8dB$, GOLD31 com atrasos discretos e uniformemente distribuidos em $[0; T - \frac{T_c}{N_s}]$, com $N_s = 3$; carregamento variável.	177

3.25	Desempenho médio sobre $K/2$ usuários para o 3º estágio de um PIC Tanh Parcial assíncrono sob efeito <i>near-far</i> de $K/2$ us; $E_b/N_0 = 8dB$, Gold31 com atrasos discretos e uniformemente distribuídos em $\left[0; T - \frac{T_c}{N_s}\right]$, com $N_s = 3$; carregamento variável.	177
3.26	Desempenho médio sobre $K/2$ usuários para o 3º estágio de um PIC Tanh Total assíncrono sob efeito <i>near-far</i> de $K/2$ us; $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$, seqs. Gold31 com atrasos discretos e uniformemente distribuídos em $\left[0; T - \frac{T_c}{N_s}\right]$, com $N_s = 3$; carregamento variável.	178
3.27	Desempenho médio sobre 16 usuários para o 3º estágio de um PIC HD, SD Linear e SD Tanh Parciais e Totais assíncronos sob efeito <i>near-far</i> de 16 us; $E_b/N_0 = 8dB$, GOLD31 com atrasos discretos e uniformemente distribuídos em $\left[0; T - \frac{T_c}{N_s}\right]$, com $N_s = 3$	178
3.28	Desempenho MCS e analítico para o PIC–SD Linear em canal Rayleigh Plano; Gold7 e $K = 4$ us. Incluído os desempenhos analíticos para Convencional, Decorrelator e SUB.	185
3.29	Desempenho MCS e analítico para o PIC–SD Linear em canal Rayleigh Plano; Gold7, 4 us e $NFR = [0, 6, 6, 6]$ dB. Incluído os desempenhos analíticos para Convencional, Decorrelator e SUB.	185
3.30	Aproximação de 3ª ordem para o detector PIC–SD e em canal Rayleigh Plano, Gold7, 4 us efeito <i>near-far</i> , $NFR = [0, 0, 0, 0]$ dB. São mostradas ainda as curvas analíticas para os detectores PIC–SD Linear, Convencional, Decorrelator e o limite <i>single user</i>	186
3.31	Aproximação de 3ª ordem para o detector PIC–SD e em canal Rayleigh Plano, Gold7, com efeito <i>near-far</i> , $NFR = [0, 6, 6, 6]$ dB. São mostradas ainda as curvas analíticas para os detectores PIC–SD Linear, Convencional, Decorrelator e o limite <i>single-user</i>	187
3.32	Simulação Monte Carlo versus desempenho analítico para o Decorrelator em canal Rayleigh Plano; Gold7 e $K = 4$ us.; estão incluídos resultados analíticos para o SUB BPSK, Convencional e o PIC com aproximação de primeira ordem.	187
3.33	Simulação Monte Carlo para detector SIC–MF síncrono em canal Rayleigh Plano considerando Gold7, $K = 4$ us. e controle perfeito de potência.	188
3.34	Simulação Monte Carlo para detector SIC–MF síncrono em canal Rayleigh Plano considerando Gold7, $K = 4$ us. e $NFR = [0, 6, 6, 6]$	188
3.35	Simulação Monte Carlo para detector SIC–SD síncrono em canal Rayleigh Plano considerando Gold7, $K = 4$ us e controle perfeito de potência.	189
3.36	Simulação Monte Carlo para detector SIC–SD síncrono em canal Rayleigh Plano considerando Gold7, $K = 4$ usuários e $NFR = [0, 6, 6, 6]$ dB.	189
3.37	Simulação Monte Carlo para detector SIC–HD síncrono em canal Rayleigh Plano considerando Gold7, $K = 4$ usuários e controle perfeito de potência.	190
3.38	Simulação Monte Carlo para detector SIC–HD síncrono em canal Rayleigh Plano considerando Gold7, $K = 4$ usuários e $NFR = [0, 10, 10, 10]$ dB.	190
3.39	Comportamento do fator de cancelamento ξ para decisor tanh, canal AWGN e Rayleigh.	201
3.40	Desempenho analítico para cancelador PIC com decisor HD Total, Parcial e Parcial Otimizado em canal Rayleigh Plano. $NFR = 0dB$; Gold31, $Load \approx 50\%$ e 100%	203

3.41	Otimização analítica dos ξ_v em um PIC–HD em função do número de estágios, E_b/N_0 e carregamento. $NFR = 0$, Gold31 e canal Rayleigh Plano.	203
3.42	Desempenho analítico para o PIC–HD Total, Parcial e Parcial Otimizado em canal Rayleigh Plano em função do número de usuários. $NFR = 0dB$; Gold31 e $\frac{E_b}{N_0} = 21dB$. Mostra-se os valores de ξ_v^{Opt} em função de K (colunas) e estágios (linhas).	204
3.43	Desempenho analítico para o PIC–HD Total, Parcial e Parcial Otimizado em canal Rayleigh Plano em função do número de usuários. Dois usuários com $NFR = 10dB$; Gold31 e $\frac{E_b}{N_0} = 21dB$	204
3.44	Similaridade de desempenho analítico para o PIC–SD Tanh e PIC–HD otimizados. São mostrados ainda PIC–HD Total, Parcial com $\xi_v = [0, 6; 0, 8; 0, 9]$; canal Rayleigh Lento com 2 raios, Gold127 e $\frac{E_b}{N_0} = 17dB$. Desempenho para o primeiro raio assumindo $\mathbb{E} [C_{i,1} ^2] \lesssim 1$	205
3.45	Resultados de simulação MCS para um PIC com decisor HD, SD Tanh e SD Linear Ilimitado em canal Rayleigh Plano assíncrono; $\frac{E_b}{N_0} = 10dB$	207
3.46	Resultados de simulação MCS \times analítico para PIC com decisor HD Parcial e ξ otimizados analiticamente; canal Rayleigh Plano assíncrono e $\frac{E_b}{N_0} = 10dB$	207
3.47	Resultados de simulação MCS \times analítico para um PIC com decisor Tanh Parcial e ξ otimizados analiticamente em canal Rayleigh Plano assíncrono e $\frac{E_b}{N_0} = 10dB$	209
3.48	Comparação de desempenho MCS \times analítico para o 3º estágio de um PIC HD e SD Tanh parciais com ξ otimizados analiticamente; canal Rayleigh Plano assíncrono e $\frac{E_b}{N_0} = 10dB$	209
3.49	Comparação de desempenho MCS \times analítico para um PIC–HD e PIC–SD Tanh, total e parcial com ξ não otimizado; $K = 10$ us, Gold31, $NFR = 0$ e canal Rayleigh Plano assíncrono.	210
3.50	Desempenho de um G–SIC com decisor HD, Tanh e Linear (esquerda) em canal Rayleigh Plano assíncrono; $S = 2$, $P_1 = 2$ e $P_2 = 14$ us; $NFR = +10dB$ para 2 us.	211
3.51	Desempenho para um G–SIC com decisor HD, Tanh e Linear (esquerda) em canal Rayleigh Plano assíncrono; $S = 2$, $P_1 = 16$ e $P_2 = 15$ us; 16 usuários com $NFR = +10dB$	212
4.1	Esquema de acesso de múltipla taxa por código múltiplo (MC) considerando 3 usuários com razões de taxa $m_3 = 4$ ($R_3 = 4R$); $m_2 = 2$ ($R_2 = 2R$), onde $R =$ taxa de bits básica.	216
4.2	Atrasos relativos experimentados pelos sinais recebidos dos 3 usuários multitaxa MC da figura 4.1; canal AWGN.	217
4.3	Variação para o esquema de múltipla taxa MC: Combinação Paralela.	218
4.4	Esquema de acesso multitaxa com modulação múltipla genérico, considerando formatos de modulação BPSK, QPSK e M-QAM, para usuários com baixa, média e alta taxa de dados.	220
4.5	Esquema de acesso de múltipla taxa com comprimento de sequência múltiplo (MPG) considerando 3 taxas de dados: $R_{HR} = 4R$; $R_{MR} = 2R$; $R_{LR} = R$, com $R =$ taxa básica de bits.	221
4.6	Sequência de espalhamento para o primeiro usuário LR , MR e HR de taxa R , $2R$ e $4R$, respectivamente, em um sistema multitaxa MPG com $N_{LR} = 32$	222
4.7	(a) relação entre as potências médias transmitidas em um esquema multitaxa MPG em função do ganho de processamento, N ; (b) estimativas soft na detecção de dados multitaxa MPG.	223

4.8	Relação temporal entre dados e chips para o esquema multitaxa com taxa de chip variável (VCR) considerando relação de taxa de chip entre dois usuários $m = 2$, isto é: $R_c^{(h)} = 2R_c^{(l)}$.	225
4.9	Estrutura receptora genérica para um sistema multitaxa com G grupos de taxas distintas utilizando separação de usuários por frequência a partir de filtros de Wiener.	226
4.10	Geração recursiva para códigos ortogonais de comprimento variável; fatores de espalhamento $SF = 1$ a 16.	231
4.11	Comportamento da autocorrelação periódica para duas seqüências OVSF com $N = 128$ (superior); valores percentuais para todas as ocorrências de autocorrelação periódica (inferior esquerda) e de correlação cruzada periódica (inferior direita).	232
4.12	Esquema genérico para o transmissor CDMA multitaxa MC com duplo espalhamento do sinal multitaxa: códigos de canalização e de embaralhamento empregado em sistemas 3G W-CDMA ..	233
4.13	Esquema multitaxa MPG com emprego de códigos ortogonais de canalização seguido pela etapa de embaralhamento com utilização de um único código por usuário, independente de sua taxa de dados ou número de canais paralelos gerados.	234
4.14	Todos os possíveis valores e respectivas percentagens de ocorrência para a autocorrelação (AC) e correlação cruzada (CC) periódica e parcial das 65 seqüências de Gold63.	238
4.15	Todos os valores possíveis e respectivas percentagens de ocorrência para a autocorrelação (AC) e correlação cruzada (CC) periódica e parcial em um conjunto de Gold127.	239
4.16	Todos os valores possíveis e respectivas percentagens de ocorrência para a autocorrelação (AC) e correlação cruzada (CC) periódica e parcial em um conjunto Kasami-S63.	239
4.17	Todos os valores possíveis e respectivas percentagens de ocorrência para a autocorrelação (AC) e correlação cruzada (CC) periódica e parcial em um conjunto Kasami-S255.	240
4.18	Correlações para 1000 realizações de seqüências de Gold31 estendida de um chip de valor -1 e $+1$ (superior) e randômico (inferior), resultando em $N = 32$. Seqüências com fase preferencial. .	242
4.19	Correlações para 1000 realizações de seqüências PN com $N = 32$. Sistema síncrono.	242
4.20	Correlações para 100 realizações de seqüências de Gold31 estendidas de um chip de valor -1 (esquerda); $+1$ (direita) e respectivos sub-conjuntos de valores do módulo de correlação cruzada; sistema assíncrono com $N = 32$.	244
4.21	(Esq.): amostra de correlação cruzada em 100 realizações de Gold31 Estendido com último chip randômico e conjuntos de valores ordenados para o módulo de correlação cruzada. Sistema assíncrono com $N = 32$. (Dir.): valores das correlações cruzadas em um conjunto de Gold31.	245
4.22	Esquema multitaxa híbrido combinando modulação mista e canais paralelos.	247
5.1	Menu para simulação Monte Carlo de sistemas multitaxa (3 taxas) MC e MPG com detecção IC Tanh e HD em canal AWGN (as-)síncrono; ambiente MatLab5.0	254
5.2	Menu para simulações Monte Carlo em canal Rayleigh com opções para escolha de parâmetros e topologia do receptor assíncrono MuD IC-Multitaxa. Algoritmos implementados apenas para Rayleigh Plano.	255

5.3	Esquema para detecção de 6 usuários MC de tripla taxa (1us HR, 2us MR e 3us LR) empregando detector PIC pós-deteção de S estágios e decisor Tanh, resultando em $K_{Efet} = 11$ usuários efetivos.....	258
5.4	Seqüências Gold31 estendidas em multitaxa MC–PIC Tanh assíncrono com 3 grupos de usuários e 3 estágios canceladores. $K_{Efet} = 32us$, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e $NFR = 0dB$	259
5.5	Seqüências PN de comprimento $N = 32$ em multitaxa MC–PIC Tanh assíncrono com 3 grupos de usuários e 3 estágios canceladores. $K_{Efet} = 32us$, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e $NFR = 0dB$	260
5.6	Carregamento médio, $K_{Efet} = 21us$, com seqüências de Gold31 estendido em multitaxa MC–PIC Tanh assíncrono de 3 estágios canceladores e controle perfeito de potência.....	261
5.7	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC–PIC Tanh assíncrono com controle perfeito de potência, $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$ e Gold31 Estendido. $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	262
5.8	Robustez <i>near-far</i> para MC–PIC Tanh assíncrono com $L = 62, 5\%$. Seqüências de Gold31 estendido, $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$ e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	263
5.9	Robustez <i>near-far</i> para MC–PIC Tanh assíncrono com $L = 100\%$. Seqüências de Gold31 estendido, $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$ e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	264
5.10	Robustez <i>near-far</i> para MC–PIC Tanh assíncrono considerando $\frac{E_b}{N_0} = 9dB$. Demais parâmetros idênticos ao da figura 5.9.....	265
5.11	Esquema genérico para o detector MPG–PICw com três grupos de usuários de taxas distintas a partir do esquema MPG associado ao detector PIC Tanh pós-deteção de S estágios com cancelamento parcial por grupo. Estimativas soft para os bits dos usuários LR e MR.....	267
5.12	MPG–PICw Tanh <i>síncrono</i> com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e $K_{Efet} = 20us$. ξ distintos por grupo.	268
5.13	MPG–PICw Tanh <i>síncrono</i> na ausência de estimativas soft de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e $K_{Efet} = 20us$. ξ distintos por grupo.	269
5.14	$K_{Efet} = 20us$ em um MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v distintos por grupo.....	270
5.15	$K_{Efet} = 32us$ em um MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v distintos por grupo.....	271
5.16	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico em um MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v distintos por grupo. $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$	272
5.17	Robustez <i>near-far</i> para MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios operando em $\frac{E_b}{N_0} = 8 dB$ e carregamento $L = 62, 5\%$. ξ_v distintos por grupo.....	273
5.18	Robustez <i>near-far</i> para MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com $L = 100\%$. $\frac{E_b}{N_0} = 8 dB$ e ξ_v distintos por grupo.	274

5.19	Esquema genérico para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas associando-se MPG à detecção híbrida GSIC com detector Convencional na detecção de grupo de mesma taxa.	275
5.20	Versão A do MPG–GSIC Tanh para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas.	277
5.21	Robustez <i>near-far</i> para a versão A do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 4 estágios; carregamento $L = 62,5\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.	278
5.22	Versão B do MPG–GSIC Tanh para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas.	279
5.23	Versão C do MPG–GSIC Tanh para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas.	280
5.24	Robustez <i>near-far</i> para a versão C do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 4 estágios; carregamento $L = 62,5\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.	281
5.25	$\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{E_{fet}} = 20$ us, versão B do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 3 estágios com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR ; três grupos de usuários com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v e ξ_{pre} distintos por grupo.	282
5.26	$\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{E_{fet}} = 32$ us, versão B do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 3 estágios com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR . Três grupos de usuários com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v e ξ_{pre} distintos por grupo.	283
5.27	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico em um MPG–GSIC Tanh Parcial e Total assíncrono de 3 estágios com <i>estimativas soft</i> de bits LR e MR ; três grupos com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; $NFR = 0$ e ξ_v e ξ_{pre} distintos por grupo. $E_b/N_0 = 8$ dB; população física inicial $K_{Fis} = [10; 5; 3]$	284
5.28	Robustez <i>near-far</i> para a versão B do MPG–GSIC Tanh Total e Parcial assíncronos; são mostrados o 1º e 3º estágios; carregamento $L = 62,5\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.	285
5.29	Robustez <i>near-far</i> para a versão C do MPG–GSIC Tanh Total e Parcial assíncronos; são mostrados o 1º e 3º estágios; carregamento $L = 100\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.	286
5.30	Detector multitaxa híbrido MC/MPG–GSIC Tanh com usuários divididos em dois blocos: HR (MC) e MR e LR (MPG) combinado ao cancelamento paralelo na detecção de bloco.	288
5.31	$\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{E_{fet}} = 20$; híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono com base de integração em $N/2$ para as <i>estimativas soft</i> ; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$; $NFR = 0$	290
5.32	$\overline{BER} \times E_b/N_0$ para um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ dB e $K_{E_{fet}} = 20$; híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono com base de integração em $N/2$ para as <i>estimativas soft</i> ; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$	291
5.33	$\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{E_{fet}} = 32$; híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono com base de integração em $N/2$ para as <i>estimativas soft</i> ; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$; $NFR = 0$	292
5.34	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico em um híbrido MC/MPG–GSIC Tanh assíncrono com base de integração em $N/2$ para as <i>estimativas soft</i> ; usuários divididos em 2 blocos; $NFR = 0$ e $E_b/N_0 = 8$ dB.	293
5.35	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico com um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ em um híbrido MC/MPG–GSIC Tanh assíncrono com base de integração em $N/2$ para as <i>estimativas soft</i> ; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$; $E_b/N_0 = 8$ dB.	294

5.36	Robustez <i>near-far</i> para o híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 3 estágios; $K_{E_{fet}} = 20$ usuários e $E_b/N_0 = 8$ dB.	295
5.37	idem à figura 5.36, exceto $K_{E_{fet}} = 32$	295
5.38	Esquema Multitaxa MC associado ao cancelamento híbrido $K_{efet} - P - S$ configurável com até $S = 3$ etapas canceladoras seriais e P_1 , P_2 e P_3 conjuntos de usuários agrupados segundo critério de similaridade de energias recebidas.	297
5.39	$\overline{BER} \times K_{Grp}$ fracos em cada um dos estágios de um PC–GSIC Tanh Total e Parcial com $\xi =$ não otimizados e um usuário por grupo com $NFR = +10$ dB ($S = 2$); $L = 100\%$	298
5.40	Idem à figura 5.39, porém apenas com um usuário por grupo fraco: $K_{Grp} = 1$ usuários com $NFR = [+5; 10; 20]$ dB, resultando em $S = 3$	299
5.41	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC–GSIC Tanh assíncrono com controle perfeito de potência ($S = 1$), $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB, Gold31 estendido e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	300
5.42	Idem à figura 5.41, porém com população inicial fixa maior, $K_{LR} = 10$; $K_{MR} = 5$; $K_{HR} = 3$ usuários.	301
5.43	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC–GSIC Tanh assíncrono; um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ dB ($S = 3$), $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB, Gold31 estendido e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	302
5.44	$\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC–GSIC Tanh assíncrono; dois usuário por taxa com $NFR = [5; 10; 20]$ dB ($S = 3$), $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB, Gold31 estendido e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$	303
5.45	Robustez <i>near-far</i> para MC–GSIC Tanh Parcial e Total assíncrono de 3 estágios com $S = 1$ para $ A_{Interf} < 5$ dB ou $S = 2$; $K_{E_{fet}} = 32$ usuários e $E_b/N_0 = 8$ dB.....	304
5.46	Idem à figura 5.45, exceto $E_b/N_0 = 10$ dB.	304
5.47	Receptor híbrido MC–GSIC com duplo desespalhamento para W–CDMA.....	308
F.1	Bandas de Confiança sobre BER quando o valor observado for igual $P_e = 10^{-v}$ para simulação Monte Carlo baseada na aproximação normal de CI.	330
F.2	Número de realizações em simulação Monte Carlo necessárias à obtenção de certo erro relativo máximo ϵ em um intervalo de confiança CI	331
F.3	Número de Erros Estimados em simulação Monte Carlo.	331
G.1	Correlação e Densidade Espectral de Potência (PSD) de amostras AWGN geradas a partir do comando MatLab <i>normrnd</i> (<i>md</i> , \sqrt{var} , <i>lin</i> , <i>col</i>). Média em 50 conjuntos de amostras.	334
G.2	Resultados de simulação Monte Carlo \times analítico para o desempenho do detector Convencional síncrono com $K = 4us$, Gold7 em canal AWGN e ampla faixa de NFR . Critério de parada na obtenção da \overline{BER} em cada ponto: 500 erros ou 10^5 bits transmitidos.....	334
G.3	Resultados de simulação Monte Carlo \times analítico para desempenho do detector Convencional BPSK em canal AWGN síncrono. Gold15 e $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB. Parada: 100 erros/ponto; $NFR = 0$	335
G.4	PDFs para as amostras dos processos estocásticos Rayleigh e Gaussiano empregadas na simulação MCS de um canal com desvanecimento	336

G.5	Detector Convencional $K = 4us$, Gold7 em canal Rayleigh plano e $\sigma_{noise}^2 = N_o/4$. Comparação de desempenho analítico versus simulação Monte Carlo com 1000 erros/pto.	337
H.1	Influência do número de amostras por chip, N_s , sobre o desempenho médio do detector Convencional em canal AWGN assíncrono. $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$, controle perfeito de potência e sequências randômicas, Rndz31.	339