

**Tiago Travassos Vieira Vinhoza**

**Estudo de Técnicas de  
Gerência de Recursos de Rádio para  
Sistemas Celulares Hierarquizados**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica**

Rio de Janeiro  
Setembro de 2003



**Tiago Travassos Vieira Vinhoza**

**Estudo de Técnicas de  
Gerência de Recursos de Rádio para  
Sistemas Celulares Hierarquizados**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento  
de Engenharia Elétrica da PUC-Rio

Orientador: Prof. José Roberto Boisson de Marca

Rio de Janeiro  
Setembro de 2003



**Tiago Travassos Vieira Vinhoza**

**Estudo de Técnicas de  
Gerência de Recursos de Rádio para  
Sistemas Celulares Hierarquizados**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre 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. José Roberto Boisson de Marca**

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

**Prof. Gláucio Lima Siqueira**

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

**Prof. Marco Antônio Grivet Mattoso Maia**

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

**Prof. Ney Augusto Dumont**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico  
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de Setembro de 2003

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

### **Tiago Travassos Vieira Vinhoza**

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 1999.

#### Ficha Catalográfica

Vinhoza, Tiago Travassos Vieira

Estudo de Técnicas de Gerência de Recursos de Rádio para Sistemas Celulares Hierarquizados/ Tiago Travassos Vieira Vinhoza; orientador: José Roberto Boisson de Marca. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2003.

v., 77 f: il. ; 29,7 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Sistemas Celulares 3. Micro-célula 4. Macro-célula. 5. *Handoff*. I. de Marca, José Roberto Boisson. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus pais, José Alberto e Rosane.

## Agradecimentos

Agradeço ao Professor José Roberto Boisson de Marca pela orientação e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores José Mauro, Raimundo, Weiler e Abraham, pelo aprendizado proporcionado.

Aos professores Gláucio e Grivet pelas sugestões dadas que vieram a enriquecer esta dissertação.

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos.

Aos meus pais, a minha irmã Luiza e toda minha família, pela confiança, carinho e incentivo.

Ao Thiago Brando, pelo auxílio computacional no desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos da PUC-Rio: Arthur, Aureo, Brega, Carol, Cláudia, Cruz, Danilo, De Lamare, Edgar, Fabian, Fred, Herbert, Janaína, José Antônio, Juan, Kiuza, Luís Eduardo, Luiz Henrique, Marcelinho, Marcelle, Marcio, Renato, Robson, Talles, Thelma e Vladimir, pelo companheirismo, debates e pelo ótimo ambiente de trabalho proporcionado.

## Resumo

Vinhoa, Tiago Travassos Vieira; de Marca, José Roberto Boisson.  
**Estudo de Técnicas de Gerência de Recursos de Rádio para Sistemas Celulares Hierarquizados.** Rio de Janeiro, 2003. 77p.  
Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica,  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sistemas celulares de múltiplas camadas (hierarquizados) são úteis para acomodar densidade alta de tráfego mantendo a qualidade de serviço. Estes sistemas procuram agregar as vantagens dos sistemas micro e macro-celulares que são respectivamente: o aumento da capacidade do sistema e a diminuição do número de *handoffs* efetuados, implicando a diminuição da carga de sinalização da rede.

Neste trabalho são analisados aspectos de projeto e desempenho de estruturas hierarquizadas como: compartilhamento do espectro entre as camadas de micro-células e macro-células bem como o desempenho de diferentes estratégias de *handoff* entre essas camadas.

Um outro objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta simples de simulação capaz de testar as diversas estratégias de *handoff* e o desempenho do sistema para diferentes soluções para a distribuição dos recursos de rádio entre camadas.

## Palavras-chave

Sistemas Celulares; Micro-células e Macro-células; *Handoff*

## Abstract

Vinhoza, Tiago Travassos Vieira; de Marca, José Roberto Boisson.  
**Radio Research Management Techniques for Hierarchical Cell Systems.** Rio de Janeiro, 2003. 77p. MSc. Dissertation  
— Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade  
Católica do Rio de Janeiro.

Multilayer cell systems are useful to accommodate high traffic densities while still satisfying the QoS requirements. These systems combine the advantages of microcellular and macrocellular systems which are: the increase of system capacity and the reduction of the number of handoffs, hence decreasing the signaling load.

This work addresses design aspects such as spectrum sharing between the macrocell and microcell layers and the performance of different handoff strategies considering both layers.

Another goal of this work was the development of a simple, but realistic, simulation tool which will allow obtaining the radio resources management results here presented.

## Keywords

Cellular Systems; Microcells and Macrocells; Handoff



# Sumário

1	Introdução	15
1.1	Objetivo e Organização desta Dissertação	16
2	Sistemas Celulares	17
2.1	Conceitos Básicos de Sistemas Celulares	17
2.1.1	Razão de Reuso	17
2.1.2	<i>Handoff</i>	18
2.1.3	Interferência	19
2.1.4	Setorização	21
2.2	Sistemas Micro-celulares	23
2.2.1	<i>Handoff</i> em Sistemas Micro-celulares	24
2.2.2	Planejamento de Sistemas Micro-celulares	26
3	Sistemas Celulares Hierarquizados	28
3.1	Gerências de Chamadas em Sistemas Celulares Hierarquizados	30
3.1.1	Estratégia do Estouro	30
3.1.2	Estratégia da Velocidade	30
3.1.3	Estratégia Clássica	31
3.2	Métodos para Estimativa de Velocidade do Móvel	33
3.3	Partição de Espectro em Estruturas Celulares Hierarquizadas	40
3.3.1	Exemplificando uma Partição de Espectro	40
4	A Ferramenta de Simulação	42
4.1	O Ambiente de Simulação	42
4.1.1	Modelo de Tráfego	43
4.1.2	Modelo de Mobilidade	44
4.1.3	Modelo de Propagação e Desvanecimento	45
4.2	O Funcionamento da Ferramenta	48
4.3	Medidas de Desempenho do Sistema Simulado	49
5	Resultados	52
5.1	Parâmetros Fixos	53
5.2	Dados de Entrada Variados Durante as Simulações	54
5.3	Estratégia Clássica Reversível	55
5.4	Estratégia Clássica Não-Reversível	60
5.5	Estratégia da Velocidade	64

5.6	Comparação entre as Estratégias Estudadas	69
5.7	Comparação com um Sistema Puramente Macro-Celular	73
6	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	74
	Referências Bibliográficas	76

## Lista de Figuras

2.1	Interferência sem Setorização	22
2.2	Interferência com Setorização Tripla	22
2.3	Funcionamento dos prédios como um corredor	23
2.4	<i>Handoff</i> LOS (Linha Cheia) e <i>Handoff</i> NLOS (Linha Tracejada)	24
2.5	Plano de Células <i>Half Square</i>	26
2.6	Plano de Células <i>Full Square</i>	27
2.7	Plano de Células Retangular	27
3.1	Estratégia do Estouro	31
3.2	Estratégia da Velocidade	31
3.3	Estratégia Clássica Reversível	32
3.4	Estratégia Clássica Não-Reversível	32
3.5	Envoltória Rayleigh para usuário veicular (a) e para usuário pedestre (b)	34
3.6	Diversidade na Recepção	34
3.7	Modelo de Célula para Cálculo do Tempo de Estada Residual	37
3.8	Modelo de Célula para Cálculo do Tempo de Estada	38
4.1	Arquitetura celular com duas camadas sobrepostas	42
4.2	Ambiente de Simulação (Apenas as micro-células aparecem)	43
4.3	<i>Manhattan Grid</i>	44
4.4	Região de Decisão	45
4.5	Modelo de Walfish-Ikegami	45
4.6	Ângulo entre o móvel e o enlace	46
4.7	Organização dos Módulos da Ferramenta de Simulação	48
5.1	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (50,50)	55
5.2	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada (50,50)	56
5.3	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada (50,50)	56
5.4	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada (50,50)	57
5.5	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (75,25)	57

5.6	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada (75,25)	58
5.7	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada (75,25)	59
5.8	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada (75,25)	59
5.9	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (50,50)	60
5.10	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada (50,50)	61
5.11	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada (50,50)	61
5.12	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada (50,50)	62
5.13	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (75,25)	62
5.14	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada (75,25)	63
5.15	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada (75,25)	63
5.16	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada (75,25)	64
5.17	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (50,50)	65
5.18	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada (50,50)	65
5.19	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada (50,50)	66
5.20	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada (50,50)	66
5.21	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (75,25)	67
5.22	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada (75,25)	67
5.23	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada (75,25)	68
5.24	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada (75,25)	68

5.25	Número médio de usuários ativos em função do tráfego de entrada (50,50)	69
5.26	Probabilidade de bloqueio de usuários pedestres em função do tráfego de entrada	70
5.27	Probabilidade de bloqueio de usuários veiculares em função do tráfego de entrada	70
5.28	Probabilidade de bloqueio de usuários em função do tráfego de entrada	71
5.29	Probabilidade de terminação forçada de usuários em função do tráfego de entrada	71
5.30	Probabilidade de terminação forçada de usuários em função do tráfego de entrada (75,25)	72
6.1	Divisão da Banda entre Macro-Células e Micro-Células	75

## Lista de Tabelas

2.1	Fator de Reuso, Razão de Reuso, Capacidade de Tráfego e Qualidade de Transmissão	18
5.1	Parâmetros para o Simulador: Dados do Modelo de Propagação	53
5.2	Outros Parâmetros do Simulador	53
5.3	Parâmetros de tráfego	54
5.4	Parâmetros das macro e micro-ERBs	54
5.5	Parâmetros de Mobilidade	54
5.6	Número de Usuários por camada	72
5.7	Resultados da comparação entre um sistema celular hierarquizado e um sistema macro-celular para o mesmo tráfego	73

## Abreviaturas e Siglas

**CDMA** - Code Division Multiple Access - Múltiplo Acesso por Divisão em Código

**ERB** - Estação Rádio-Base

**GSM** - Global System for Mobile Communications

**IS-136** - Interim Standard 136

**LOS** - Line of Sight - Linha de Visada

**MAHO** - Mobile Assisted Handoff - Handoff Assistido pelo Móvel

**MCHO** - Mobile Controlled Handoff - Handoff Controlado pelo Móvel

**MSC** - Mobile Switching Center - Central de Comutação Móvel

**NLOS** - Non Line of Sight - Sem linha de Visada

**QoS** - Quality of Service - Qualidade de Serviço

**TDMA** - Time Division Multiple Access - Múltiplo Acesso por Divisão no Tempo