



**Diego dos Santos**

**Planejamento de Cobertura e Capacidade de  
Redes de Acesso em Banda Larga com  
Tecnologia LTE**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Rio de Janeiro  
Abril de 2010



**Diego dos Santos**

**Planejamento de Cobertura e Capacidade de  
Redes de Acesso em Banda Larga com  
Tecnologia LTE**

Dissertação de Mestrado 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. Luiz Alencar Reis da Silva Mello**

Orientador

Centro de Estudos de Telecomunicações – PUC-Rio

**Prof. Rodolfo Saboia Lima de Souza**

Inmetro

**Prof. Renato Arregui Gomes**

Operadora de Celular Claro

**Prof. Pedro Vladimir Gonzalez**

Castellanos

Inmetro

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 8 de abril de 2010

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

### **Diego dos Santos**

Graduou-se em Engenharia Elétrica, em Março de 2007, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Em Março do mesmo ano, iniciou no Centro de Estudos em Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro seu Mestrado na área de Eletromagnetismo Aplicado.

### Ficha Catalográfica

Santos, Diego dos

Planejamento de cobertura e capacidade de redes de acesso em banda larga com tecnologia LTE / Diego dos Santos; orientador: Luiz Alencar Reis da Silva Mello. – 2010.

91 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Sistemas LTE. 3. Planejamento celular. I. Mello, Luiz Alencar Reis da Silva. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

À minha família.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador Dr. Silva Mello.

À minha família.

Aos amigos.

Aos colegas do CETUC-Rio.

À FAPERJ e PUC-Rio, pelos auxílios concedidos.

## Resumo

Santos, Diego dos; Mello, Luiz Alencar Reis da Silva. **Planejamento de Cobertura e Capacidade de Redes de Acesso em Banda Larga com Tecnologia LTE**. Rio de Janeiro, 2010. 91p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Atualmente, as redes celulares estão sendo utilizadas como uma saída para prover serviços de banda larga em locais que ainda não são atendidos pelas redes fixas, principalmente em países subdesenvolvidos como o Brasil. As tecnologias empregadas atualmente no Brasil, o GSM (*Global System for Mobile*) e o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), não são tecnologias desenvolvidas para absorver a grande demanda que vem sendo observada no mercado de banda larga móvel. Devido a essa demanda inesperada, acredita-se que o LTE (*Long Term Evolution*), a primeira tecnologia desenvolvida com o objetivo de atender não somente as chamadas de voz, mas principalmente as conexões banda larga, apresente condições de suportar com maior eficiência esta crescente necessidade. Para que todas as expectativas relacionadas à capacidade das redes LTE sejam atendidas, é extremamente necessário que um correto dimensionamento dessas redes seja realizado, pois somente desta forma será possível estabelecer o compromisso de se atender os usuários com qualidade.

## Palavras-chave

Sistemas LTE; Planejamento Celular.

## Abstract

Santos, Diego dos; Mello, Luiz Alencar Reis da Silva (Advisor). **Coverage and Capacity Planning of LTE Broadband Access Networks**. Rio de Janeiro, 2010. 91p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

At the moment, the cellular networks are being used as an option to provide broadband services in places that have not yet been covered by the fixed networks, mainly in underdeveloped countries like Brazil. The employed technologies now in Brazil, GSM (*Global System is Mobile*) and UMTS (*Mobile Universal Telecommunications System*), they were not developed to absorb the great demand that has been observed at the broadband mobile market. Due to that unexpected demand, it's being believed that LTE (*Long Term Evolution*), the first technology developed with the objective of supporting not only the voice calls, but mainly the broadband connections, is able to hold with larger efficiency this growing needs. For all that expectations about the LTE network's capacity be achieved, it is extremely necessary that a correct sizing of those networks be accomplished, therefore only this way it will be possible to establish the commitment of supporting the subscribers with quality.

## Keywords

LTE Systems; Cellular Planning.

## Sumário

1	Introdução	14
1.1.	Evolução das Redes Celulares	15
1.2.	Objetivos do Trabalho	17
2	Tecnologia LTE	18
2.1.	Arquitetura da Rede	18
2.1.1.	Enhanced Base Stations	18
2.1.2.	Core Network e Gateway	20
2.2.	Faixas de Frequências	23
2.3.	MIMO	24
2.4.	Arquitetura de Protocolos	25
2.4.1.	Canais e Sinais Físicos	26
2.4.2.	Canais de Transporte	27
2.4.3.	Canais Lógicos	28
2.5.	Downlink LTE	29
2.5.1.	OFDM	29
2.5.2.	OFDMA	30
2.5.3.	Resource Blocks	33
2.6.	Uplink LTE	34
2.6.1.	SC-FDMA	34
2.7.	LTE Advanced	36
2.7.1.	Requisitos	36
2.7.2.	Tecnologia	37
3	Planejamento de Sistemas LTE	38
3.1.	Link Budget	39
3.1.1.	Link Budget de Downlink	41
3.1.2.	Link Budget de Uplink	42
3.2.	Cálculo do Raio Teórico	43
3.3.	Cálculo do Máximo Throughput Teórico	47
3.4.	Cálculo da Máxima Eficiência Espectral	51
3.5.	Cálculo da Capacidade do Canal e da Relação Sinal Ruído (SNR)	51



3.6. Cálculo da Interferência Co-Canal	56
3.6.1. Cálculo da Interferência Co-Canal com Setorização Tripla	61
3.6.2. Cálculo da Interferência Co-Canal com Setorização Sêxtupla	63
3.7. Cálculo do Raio em Função da Modulação e SNR	65
4 Estudo de Caso	71
4.1. Introdução	71
4.2. Cálculo da Quantidade de Estações Necessárias para Cobertura	72
4.3. Cálculo da Quantidade de Estações Necessárias para Capacidade	73
4.4. Projeto de Rede	75
5 Conclusões	84
6 Referências Bibliográficas	87
7 Glossário	89

## Lista de Figuras

Figura 1.1 - LTE como capacidade para a rede 3G existente.	16
Figura 2.1 – Arquitetura Básica.	19
Figura 2.2 – Gateway LTE.	20
Figura 2.3 – Handover entre LTE e UMTS.	21
Figura 2.4 – Integração de Redes GSM, UMTS e LTE.	22
Figura 2.5 – Possibilidades de configurações de largura de banda.	24
Figura 2.6 – Configuração MIMO [5].	24
Figura 2.7 – Estrutura dos canais lógicos, de transporte e físicos no LTE.	25
Figura 2.8 – Disposição das portadoras na Modulação FDM e OFDM.	29
Figura 2.9 – Configuração de acesso no OFDM [8].	30
Figura 2.10 – Transmissão OFDMA [3].	31
Figura 2.11 – OFDMA no domínio do tempo e da frequência [7].	31
Figura 2.12 – Acesso no LTE [3].	33
Figura 2.13 – Transmissão SC-FDMA [3].	34
Figura 2.14 – Transmissão utilizando OFDMA x SC-FDMA.	35
Figura 3.2 – Eficiência Espectral do LTE.	51
Figura 3.3 – Cluster.	56
Figura 3.4 – Interferência dos anéis adjacentes.	58
Figura 3.5 – Interferência com setorização tripla.	61
Figura 3.6 – Interferência com setorização sêxtupla.	63
Figura 3.7 – Variação do <i>Throughput</i> (Mbps) conforme a distância (m) para largura de banda de 5 MHz.	68
Figura 3.8 – Variação do <i>Throughput</i> (Mbps) conforme a distância (m) para largura de banda de 10 MHz.	68
Figura 3.9 – Variação do <i>Throughput</i> (Mbps) conforme a distância (m) para largura de banda de 15 MHz.	69
Figura 3.10 – Variação do <i>Throughput</i> (Mbps) conforme a distância (m) para largura de banda de 20 MHz.	69
Figura 4.1 – Massificação da banda larga móvel, relação do crescimento mundial de dados em comparação ao serviço de voz [16].	71
Figura 4.2 – Previsão do crescimento da banda larga móvel em comparação com o serviço de voz. Aproximadamente 80% devido HSPA/LTE [16].	72
Figura 4.3 – Relevo da região a ser atendida pelo serviço de banda	

larga móvel.	75
Figura 4.4 – Ilustração da distribuição das eNodeBs na área a ser atendida.	76
Figura 4.5 – Intensidade do Sinal na área de cobertura (RSCP).	79
Figura 4.6 – Cobertura <i>Best RSCP</i> (Melhor Servidor).	80
Figura 4.7 – Área de atuação das modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK.	81
Figura 4.8 – Relação $E_c/I_o$ .	82

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Frequências definidas pelo 3GPP para o LTE.	23
Tabela 2.2 – Resource Blocks e Subportadoras [7].	32
Tabela 2.3 – Parâmetros físicos dos Resource Blocks [7].	34
Tabela 3.1 – Valores dos Parâmetros para o <i>Link Budget de Downlink</i> .	41
Tabela 3.2 – Sensibilidade Requerida na Recepção para a modulação QPSK [13].	42
Tabela 3.3 – Valores dos Parâmetros para o <i>Link Budget de Uplink</i> .	42
Tabela 3.4 – Valores dos Parâmetros do Modelo SUI.	45
Tabela 3.5 – Valores calculados no <i>Link Budget</i> .	47
Tabela 3.6 – Largura de Banda e Subportadoras LTE.	48
Tabela 3.7 – Capacidade de bits por símbolo das modulações utilizadas no <i>downlink</i> .	48
Tabela 3.8 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 5 MHz.	49
Tabela 3.9 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 10 MHz.	50
Tabela 3.10 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 15 MHz.	50
Tabela 3.11 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 20 MHz.	50
Tabela 3.12 – Taxa de Código de Modulação.	53
Tabela 3.13 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 5 MHz, adotando taxa de código.	54
Tabela 3.14 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 10 MHz, adotando taxa de código.	54
Tabela 3.15 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 15 MHz, adotando taxa de código.	54
Tabela 3.16 – <i>Throughput</i> para largura de banda de 20 MHz, adotando taxa de código.	55
Tabela 3.17 – SNR requerido para respectivas modulações e taxas de códigos.	55
Tabela 3.18 – Fator de Reuso e Razão de Reuso Celular.	57
Tabela 3.19 – Relação SIR considerando o primeiro anel interferente.	59
Tabela 3.20 – Relação SIR considerando o primeiro e o segundo anel interferente.	60
Tabela 3.21 – Relação SIR considerando o primeiro anel interferente	

com setorização tripla.	62
Tabela 3.22 – Relação SIR considerando o primeiro anel interferente com setorização sêxtupla.	64
Tabela 3.23 – SNR requerido para respectivas modulações e taxas de códigos.	66
Tabela 3.24 – Valores dos Parâmetros para o <i>Link Budget de Uplink</i> .	66
Tabela 3.25 – Raio de atuação das Modulações e respectivas taxas de códigos (MCS).	67
Tabela 4.1 – <i>Throughput</i> dimensionado para o limite celular com SNR de 1,45 dB.	75
Tabela 4.2 – Alturas adotadas para as eNodeBs utilizadas no estudo de caso.	77
Tabela 4.3 – Configurações dos equipamentos utilizados.	77
Tabela 4.4 – Sensibilidade Requerida na Recepção pela estação móvel.	78
Tabela 4.5 – Raio de atuação das Modulações e respectivas taxas de códigos e <i>throughput</i> celular para largura de banda de 20 MHz.	81