

RESUMO

As redes de telecomunicações nos últimos anos têm sofrido um grande desenvolvimento a nível tecnológico. A prova disso é a revolução das redes sem fios, iniciada com a tecnologia GSM (*Global System Mobile*) nos anos 90, na qual eram apenas disponibilizados serviços de voz. Esta tendência continuou com o GPRS (*General Packet Radio Service*) onde se iniciaram os serviços de dados surgindo assim mais tarde, a tecnologia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

Com o aparecimento da nova tecnologia LTE (*Long-Term Evolution*), surgiu um novo paradigma consumista no mercado, facto que gerou um conflito directo com as redes de banda larga (*ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line*) fornecidas anteriormente apenas pela rede fixa. A partir deste momento, estas duas tecnologias passaram a oferecer altos débitos de dados, eliminando assim esta diferenciação existente até então entre ambas.

Esta foi a plataforma que despoletou o meu interesse em explorar a tecnologia LTE, mais precisamente, o planeamento de rádio em ambientes *Indoor* e *Outdoor*. Este planeamento requeria uma comparação prática e teórica, de forma a observar que a tecnologia reflectia os valores estipulados na norma LTE.

Como método de comparação foi utilizada uma ferramenta de planeamento de redes móveis, gentilmente disponibilizada pela Alcatel-Lucent para o tipo de ambiente *outdoor* em estudo, para o *indoor* não foi efectuada simulação, por indisponibilidade da ferramenta. Após a configuração do sistema de rádio foi efectuada a recolha de dados no terreno através de *drive-testes*. Findo esta fase, procedeu-se ao pós-processamento e análise dos dados recolhidos, por forma a ser possível estabelecer a comparação entre o planeamento teórico efectuada através da ferramenta de planeamento e os dados capturados no terreno.

Os resultados obtidos demonstram que a cobertura preconizada no caso *Outdoor* estavam de acordo com o planeamento efectuada, uma vez que os dados medidos no terreno coincidiram com os valores simulados, apenas com um desvio mínimo dentro da margem de tolerância. No que respeita ao *indoor* verificou-se que as medidas estavam de acordo com o estipulado na norma.

Como conclusão, confirmou-se a validade das ferramentas e da metodologia utilizada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de começar por agradecer o enorme apoio do meu companheiro de luta, colega de curso, e amigo Eng^o Hugo Francisco, à minha mulher, Patricia Ferreira, pela amizade, apoio, paciência, incentivo e motivação, porque sem a sua força eu nunca conseguiria chegar ao fim do curso.

Agradeço em geral a todos aqueles que me ajudaram a tornar possível a realização deste trabalho, em particular ao Professor Pedro Vieira do ISEL (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa) e ao Eng^o Nuno Marques da Alcatel-Lucent, pelas suas excelentes colaborações de orientador e co-orientador, respectivamente.

Gostaria também de agradecer à Alcatel-Lucent pela disponibilização de bibliografia, laboratórios, equipamentos de rádio, ferramentas de planeamento, equipamentos de medida, materiais que sem os mesmos não seria possível efectuar esta dissertação.

Obrigado a todos os outros que me ajudaram a levar esta dissertação a bom porto.

Bem Hajam!.

Luanda, Setembro 2011

Nuno Pais Jorge

ÍNDICE

LISTA DE ACRÓNIMOS	13
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Motivação	18
1.2 Objectivos.....	19
1.3 Estrutura da Dissertação	20
2 ESTADO DA ARTE.....	22
2.1 Introdução.....	22
2.2 Evolução Tecnológica	24
2.3 LTE – Long Term Evolution	26
2.3.1 Arquitectura LTE	28
2.3.2 Técnica de Acesso Múltiplo em LTE	33
2.3.3 Soluções de Antenas LTE.....	35
2.3.4 Flexibilidade de Espectro – FDD E TDD.....	35
2.3.5 Interfaces e Arquitectura LTE	38
2.4 Processo de Dimensionamento da Rede LTE	41
2.4.1 Estudo do Link Budget em UL para Planeamento Outdoor Macro-Celular	43
2.4.2 Estudo do <i>Link Budget</i> em DL para Planeamento <i>Outdoor</i> Macro Celular	49
2.4.3 Geometria	50
2.4.4 Modelos de Propagação	51
2.4.5 Área da Estação	53
2.4.6 Capacidade do Interface Ar.....	54
2.4.7 Modelos de Agregação de Tráfego	57

2.5	Planeamento RF Indoor	62
2.5.1	Desenho da Rede	63
3	RNP LTE	68
3.1	Ferramentas de Planeamento e Teste	68
3.1.1	Características da Ferramenta RNP 9955	69
3.1.2	Características da Ferramenta de Planeamento MapInfo	69
3.1.3	Características da Ferramenta de Teste Agilent.....	70
3.1.4	Características da Ferramenta RNP <i>IBwave</i>	71
3.1.5	Características do UE (User Equipment)	71
3.2	RNP – Outdoor: Trial Paris	73
3.2.1	Planeamento Outdoor.....	73
3.2.2	<i>Link Budget Outdoor – Trial Paris</i>	75
3.2.3	Planeamento de Cobertura <i>Outdoor – Trial Paris</i>	78
3.2.4	Medidas Colectadas – <i>Trial Paris</i>	86
3.2.5	Requisitos Iniciais/ <i>Link Budget/ RNP 9955</i> - Relação com a Rede <i>Live</i> ... 90	
3.3	RNP Indoor – Sede ALU.....	99
3.3.1	Planeamento Indoor	99
3.3.2	Planeamento de Cobertura	104
3.3.3	Medidas Colectadas	106
4	CONCLUSÕES	109
4.1	Conclusões	109
4.2	Próximos Passos.....	111
	BIBLIOGRAFIA	112
	ANEXOS	114
	ANEXO 1	115
	ANEXO 2	118
	ANEXO 3	135

ANEXO 4	136
ANEXO 5	138
ANEXO 6	140
ANEXO 7	142
ANEXO 8	144
ANEXO 9	146

ÍNDICE - FIGURAS

Figura 1 – Evolução do Mercado Relativo ao Acesso à Banda Larga [22].	23
Figura 2 – Percurso Para o LTE (Fonte: [21]).	26
Figura 3 – Evolução de UMTS para LTE (Fonte: [21]).	27
Figura 4 – Arquitectura Plana e Evolução da Arquitectura LTE (Fonte: [21]).	29
Figura 5 – Transição de 3G Para LTE (Fonte: [21]).	30
Figura 6 - Diagrama da Arquitectura LTE (Fonte:21)	33
Figura 7 - LTE Downlink Physical Resource Based on OFDM (Fonte: [21]).	34
Figura 8 – Antenas MIMO (Fonte: [21]).	35
Figura 9 – Emparelhamento FDD e TDD (Fonte: [21]).	36
Figura 10 – Cenários de Atribuição de Recursos DL/UL (Fonte: [21]).	36
Figura 11- Arquitectura de rede LTE com os principais interfaces (Fonte: [21]).	38
Figura 12 – Interface S1 (Fonte: [18]).	39
Figura 13 – Interface X2 (Fonte: [18]).	41
Figura 14 – Processo de Dimensionamento ALU (Fonte: [7]).	42
Figura 15 – Conceito do Link Budget no Uplink (Fonte: [7]).	43
Figura 16 – Valores de Throughput em UL (Fonte: [7]).	44
Figura 17 – Elementos do Link Budget (Fonte: [7]).	45

Figura 18 – Valores de <i>Throughput</i> em DL (Fonte: [7]).	50
Figura 19 – Exemplo de Sinais de Transmissão que Contribuem para a Geometria em DL (Estação base Servidora a Verde e a Vermelho as Estações Adjacentes) (Fonte: [7]).	50
Figura 20 – Distância inter-estação e área do estação (Fonte: [7]).	53
Figura 21 – <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> para o Dimensionamento da Capacidade do Interface Ar (Fonte: [17]).	54
Figura 22 – Exemplo de Capacidade LTE (Fonte: [17]).	57
Figura 23 – <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> do Modelo de Agregação de Tráfego (Fonte: [19]).	59
Figura 24 – Esquema de Fluxo de Tráfego (Fonte: [19]).	60
Figura 25 – Algoritmo Knapsack <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> (Fonte: [19]).	61
Figura 26 – Exemplo do Comportamento Knapsack (Fonte: [19]).	61
Figura 27 – Fases de Processamento no Planeamento de uma Rede Móvel.	73
Figura 28 – Localização das Estações Base LTE.	80
Figura 29 – Sector 41 desactivado	81
Figura 30 – Mapa de Cobertura de melhor célula.	82
Figura 31 – Mapa de Cobertura SINR.	83
Figura 32 – Mapa de Cobertura de RSSI.	84
Figura 33 - Mapa de Cobertura RSRP.	85
Figura 34 – Mapa de Cobertura de <i>Throughput</i> .	85
Figura 35 -Mapa de Cobertura de melhor célula.	87
Figura 36 - Mapa de Cobertura SINR.	87
Figura 37 – Mapa de Cobertura RSSI.	88
Figura 38 – Mapa de Cobertura RSRP.	89
Figura 39 - Mapa de Cobertura de <i>Throughput</i> .	90
Figura 40 – Exemplo de <i>Throughput</i> a 500 metros da estação base.	91

Figura 41 - Exemplo de <i>SINR</i> a 500 metros da estação base.....	92
Figura 42 - Exemplo de <i>Throughput</i> a 160 metros da estação base	93
Figura 43 - Exemplo de <i>SINR</i> a 160 metros da estação base.....	94
Figura 44 – Relação das amostras de throughput vs MAPL.....	95
Figura 45 – Relação das amostras de throughput vs <i>SINR</i>	96
Figura 46 – Distribuição de amostras de <i>SINR</i> do simulador RNP 9955	97
Figura 47 – Relação das amostras de Throughput vs <i>RSSI/SINR</i>	98
Figura 48 - Relação das amostras de Throughput vs <i>RSSI/SINR</i>	99
Figura 49 - Localização do Edifício Alcatel – Lucent.	100
Figura 50 - Localização das antenas.....	105
Figura 51 - Solução Técnica	106
Figura 52 – Diagrama de Blocos	106
Figura 53 – Mapa de Cobertura <i>RSSI</i>	106
Figura 54 – Mapa de Cobertura <i>SINR</i>	107

ÍNDICE - EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do MAPL para um determinado de serviço (Fonte: [7]).....	44
Equação 2 – Cálculo da Sensibilidade.....	46
Equação 3 – Cálculo do MAPL limite da célula.....	48
Equação 4 - Cálculo de geometria (Fonte [7]).....	51
Equação 5 – Cálculo de K1 (Okumura-Hata).....	51
Equação 6 – Cálculo de a (Hm) (Okumura-Hata).....	51
Equação 7 – Cálculo de K2 (Okumura-Hata).....	51
Equação 8 - Cálculo de K1 (COST-231 Hata).....	52
Equação 9 - Cálculo de K2 (COST-231 Hata).....	52
Equação 10 - Cálculo de K1 (modified COST-231 Hata).....	52
Equação 11 - Cálculo de K2 (modified COST-231 Hata).....	52
Equação 12 – Cálculo área da estação.....	53
Equação 13- Cálculo de agregação de tráfego.....	59

ÍNDICE - TABELAS

Tabela 1 – Objectivos de Desempenho para o LTE (Fonte: [21]).	28
Tabela 2 – Atribuição de espectro electromagnético para o LTE em modo FDD (Fonte: [21]).	37
Tabela 3 – Atribuição de espectro electromagnético para o LTE em modo TDD (Fonte: [21]).	38
Tabela 4 – Exemplo de Cálculos para Múltiplos Serviços (Fonte: [7]).	48
Tabela 5 - Capacidade do Interface Ar em LTE no <i>Uplink</i> (Fonte: [17]).	55
Tabela 6 - Tabela do Interface Ar em LTE no Downlink (Fonte: [17]).	56
Tabela 7 – A Distância mínima para a Posição da Antena [20]	66
Tabela 8 – Calibração do Modelo de Propagação.	75
Tabela 9 - Banda de Frequências e Parâmetros.	76
Tabela 10 - Características chave do LTE.	76
Tabela 11 – Sumário do <i>link budget</i> para uma área urbana.	76
Tabela 12 – Valores de UL Cell Range, UL MAPL, DL Throughput e DL SINR.	77
Tabela 13 - Sumário dos Parâmetros de UL e DL.	78
Tabela 14 – Parâmetros Rádio das estações base	79
Tabela 15 – Exemplo comparativo para 500 metros	92
Tabela 16 - Exemplo comparativo para 160 metros	94
Tabela 17 – Equipamento, materiais, ganhos e perdas.	101
Tabela 18 – Resumo de Parâmetros DAS.	102
Tabela 19 – Banda de frequências e parâmetros.	102
Tabela 20 - Características chave do LTE.	102
Tabela 21 - Sumário do <i>link budget</i> .	103
Tabela 22 - Valores de UL Cell Range, UL MAPL, DL Throughput e DL SINR no <i>Indoor</i> .	103

Tabela 23 – Sumário dos Parâmetros de DL e UL..... 104

LISTA DE ACRÓNIMOS

- 1G – Redes Móveis da Primeira Geração
- 2.5G - Redes Móveis da Segunda Geração e Meia – *Edge*
- 2G - Redes Móveis de Segunda Geração
- 3G - Redes Móveis da Terceira Geração
- 3GPP - 3rd Generation Partnership Project
- 3GPP2 - 3rd Generation Partnership Project 2
- 4G – Redes Móveis da Quarta Geração
- ACP – Automatic Cell Planning
- ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
- AFP – Automatic Frequency Planning
- AMPS - Advanced Mobile Phone Systems
- ANACOM - Autoridade Nacional de Comunicações
- BCMCS - Broadcast and Multicast Service
- BER – Bit Error Rate
- BLER – Block Error Rate
- BS – Base Station
- BSC - Base Station Controller
- CDN – Content Delivery Network
- CDMA - Code Division Multiple Access
- CGC -Complementary Ground Component
- CI - Cell ID
- CN - Core Network
- DAS - Distributed Antenna System Solution
- DL - Downlink
- DSL - Digital Subscriber Line

EDGE - Enhanced Data rates for GSM Evolution

EPC - Evolved Packet Core

EPS - Evolved Packet System

ETSI - European Telecommunications Padrões Institute

E-UTRAN – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

EV-DO - Evolution-Data Optimized

FDMA – Frequency Division Multiple Access

FEC - Forward Error Correction

FER – Forward Error Rate

FDD - Frequency Division Duplex

FTA – Free-to-Air

GPS - Global Positioning System

GPRS - General Packet Radio Service

GSM - Global System for Mobile Communications

GPON – Gigabit-Capable Passive Optical Network

GW – Gateway

HARQ - Hybrid Automatic Retransmission Request

HDTV - High-definition Television

HLR - Home Location Register

HSDPA - High Speed Packet Access

HSPA - High Speed Packet Access

HSPA+ - Evolved High Speed Packet Access

HSS - Home Subscriber Server

HSUPA - High Speed Uplink Packet Access

IP - Internet Protocol

IT – Informação Técnica

IPDC - DVB-IP Data Casting System

IRT - Intelligent Ray Tracing

ISP - Internet Service Provider

KPI – Key Performance Indicators

LTE - Long Term Evolution

MAC - Medium Access Control

MAPL - Maximum Allowable Propagation Loss

MBMS - Multimedia Broadcast and Multicast Service

MIMO - Multiple Input Multiple Output

MME - Mobility Management Entity

MMS - Multimedia Messaging Service

MSB - Most Significant Bits

MSC - Mobile Switching Center

MSS – Mobile Satellite Systems

MPE-FEC - Multiprotocol Encapsulation - Forward Error Correction

NAS - Non-Access Stratum

NGMN - Next Generation Mobile Networks

NMT - Nordic Mobile Telephone Network

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA - Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

OSS - Operation Support System

PDA - Personal Digital Assistants

PAPR - Peak-to-Average Power Ratio

PDCCP - Packets Data Control Protocol

PDN GW - Packet Data Network Gateway

PLMN - Public Land Mobile Network

QAM – Quadrature Amplitude Modulation

QCIs – Quality of Service Class
QoE – Quality of Experience
QoS – Quality of Service
QPSK - Quadrature Phase Shift Keying
RAN - Radio Access Network
RLC - Radio Link Control
RNC - Radio Network Controller
RNS - Radio Network Subsystem
RRM - Radio Resource Management
RNC - Radio Network Controller
RNP - Radio Network Planning
RNS - Radio Network Subsystem
RRM - Radio Resource Management
RSRP - Reference Signal Received Power
RSSI - Received Signal Strength Indication
SAE - System Architecture Evolution
SC – Scrambling Code
SC - Satellite Component (DVB-SH)
SC-FDMA - Single Carrier Frequency-Division Multiple Access
SFN – Single-Frequency Network
SGSN - Serving GPRS Support Node
SGW - Serving Gateway
SMS – Short Message Service
SINR - Signal-to-noise Interference
SNR - Signal Noise Ratio
SON - Self Optimization Networks

SPM - Standard Propagation Model

SRNC - Single Serving RNC

TDD - Time Division Duplex

TDM - Time Division Multiplex

TDMA - Time Division Multiple Access

TPS - Transmitter Parameter Signaling

TS – Time Slot

TV –Televisão

UE - User Equipment

UL - Uplink

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

UTD - Uniform Theory of Diffraction

UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network

VoIP – Voice Over IP

WARC - World Administrative Radio Conference

WAP - Wireless Application Protocol

WCDMA - Wide-Band Code-Division Multiple Access

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Nos últimos tempos, o mundo das telecomunicações tem assistido a um grande desenvolvimento no que respeita à introdução de novas tecnologias e de novos serviços. Na altura do lançamento das redes 3G (Redes Móveis da Terceira Geração), o serviço de vídeo-chamada era considerado como a *Killer application* quando hoje se constata que esse atributo pertence ao serviço de acesso à internet em banda larga, que permite nomeadamente o acesso a conteúdos mais exigentes como é o caso vídeo (*streaming*). Assim, é frequente os utilizadores utilizarem o seu terminal móvel 3G para assistirem a programas televisivos em directo, fazerem DL (*download*) de vídeos de notícias, música ou outros tipos de entretenimento e lazer, ou efectuarem *upload* das suas fotografias e vídeos para as redes sociais.

As redes 4G (Redes Móveis da Quarta Geração) podem ser definidas como redes sem fios ponto-a-ponto, as quais permitem a transferência de dados com ritmos de transmissão ainda mais elevados face ao 3G, com *roaming* global, em pequenos terminais que substituem os computadores (*tablets*), com um elevado nível de personalização do equipamento e das aplicações. As redes 4G serão construídas a partir das redes 3G existentes, e irão utilizar uma arquitectura distribuída tendo como base a utilização do protocolo IP (*IP - Internet Protocol*) ponto-a-ponto. Neste tipo de redes, os terminais irão funcionar como *transceivers* e *routers* para os outros elementos da rede, eliminando o *hub-and-spoke*, onde todos os pontos estão integrados por um ponto central, o que significa um aumento da malha de destinos existente na arquitectura das redes 4G e que é uma limitação dos sistemas móveis 3G. A rede tem uma capacidade de se alterar ou adaptar dinamicamente, de maneira a poder ter o maior número de utilizadores em simultâneo, possibilitando aos mesmos usufruírem de todos os serviços disponíveis da rede. De forma a evitar-se a congestão, e/ ou aumento da latência da rede, os utilizadores são transferidos para *routers* que estejam a processar menos tráfego, sendo este processo dinâmico e extremamente rápido sem impacto para a rede e, principalmente, sem que o utilizador se aperceba desta transferência.

O ritmo de transmissão de dados dos sistemas 3G é cerca de 10 vezes maior do que o ritmo de transmissão dos sistemas 2G/ 2.5G (Redes Móveis de Segunda Geração). Nos sistemas 4G espera-se atingir ritmos de transmissão 10 vezes superiores aos dos sistemas 3G, ou seja, por volta dos 100 Mbps. Os sistemas 4G deverão também satisfazer os requisitos da próxima geração da Internet mediante o cumprimento dos protocolos IPv6 e *Mobile IP*, e dar continuidade ao controlo de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*).

Dada a grande procura por parte dos utilizadores das redes móveis ao acesso a conteúdos e aplicações, em qualquer lugar, e em qualquer momento, surge a necessidade de fazer evoluir as redes existentes de maneira a dar resposta a essa demanda do mercado. A grande motivação para a introdução do LTE (*Long Term Evolution*) é pugnar pela qualidade do serviço e os elevados débitos binários que proporcionará aos seus potenciais utilizadores.

Para além disso, o planeamento de rádio terá de responder às novas necessidades de tráfego (*hot-spots* de dados) com a introdução do LTE, e a utilização das novas tecnologias existentes MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), RRH (*Remote Radio Head*), AAS (*Active Antena System*)), que vão permitir maximizar a utilização do espectro de um modo eficiente. Também os aspectos de dimensionamento e de arquitectura de transmissão adquirem especial importância devido aos elevados *throughputs* e volumes de dados transmitidos.

De acordo com o apresentado anteriormente, esta dissertação tem como objectivo demonstrar na prática as mais-valias que a norma rádio LTE traz à propagação rádio ambiente *indoor* e *outdoor*.

1.2 OBJECTIVOS

O objectivo desta dissertação é efectuar um planeamento de um sistema LTE, *indoor* e *outdoor*, analisar e verificar os níveis de cobertura de macro e pico células, com incidência nos seguintes conteúdos:

- **Planeamento de um projecto puramente *Indoor E2E* para um edifício:** o projecto contemplará o planeamento da rede, a recolha de dados no campo, o estudo dos

equipamentos a instalar, os aspectos práticos de implementação, a integração e testes da validação da solução;

- **Estudo de cobertura Outdoor LTE:** será constituído pelo planeamento teórico da cobertura e análise dos resultados obtidos na prática;
- **Análise do sistema LTE:** terá em conta a tendência e necessidade crescente de utilização de células de dimensão reduzida (pico e femto-células), assim como de técnicas de continuidade para a cobertura macro celular.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação consistirá na análise dos vários modelos teóricos de propagação rádio aplicados em ambiente *indoor* e *outdoor*, tendo em consideração a sua evolução, arquitectura, análise de dados teóricos fornecidos por uma ferramenta de planeamento de redes móveis, e a recolha de dados através de *drive-testes*, de forma a verificar o desempenho da cobertura de rádio preconizado.

A dissertação a realizar está organizada em quatro capítulos.

O presente capítulo é composto pela introdução, motivação, objectivos e uma breve descrição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, intitulado Estado da Arte, é dedicado à tecnologia LTE, aos modelos de propagação a ela associados e ao planeamento de rádio para as topologias *indoor* e *outdoor*.

O terceiro capítulo é dedicado ao desenvolvimento de um projecto de planeamento *indoor* e *outdoor*, simulações de cobertura, captura de medidas, pós-processamento e análise.

Por fim, no quarto capítulo, são apresentadas as conclusões.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 INTRODUÇÃO

O LTE é a evolução correcta para as redes dos operadores móveis, quer sejam redes 2G, 3G, 3.5G (*HSPA - High Speed Packet Access*). A instalação de uma rede LTE permitirá fornecer uma maior largura de banda e menor latência aos utilizadores, e com isso abrir a possibilidade para oferecer novos e avançados serviços móveis de banda larga, para além da capacidade de tratar e solucionar questões levantadas pelo elevado volume de tráfego de dados nas redes móveis existentes [22]. Assim, o principal objectivo é prestar serviços de banda larga com uma qualidade de utilização pelo menos equivalente à experiência de utilização de um acesso de banda larga fixa ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber line*) ou GPON (*Gigabit-Capable Passive Optical Network*) em casa. Em termos financeiros, pretende-se reduzir despesas operacionais com uma arquitectura plana IP. O LTE tem potencial para oferecer uma maior largura de banda e menor latência a uma ampla gama de utilizadores, mesmo àqueles que estão localizados nos limites de cobertura.

As tecnologias 3G, e 3.5G (*HSPA - High Speed Packet Access*) e o EV-DO (*Evolution-Data Optimized*) oferecem um débito muito superior às tecnologias 2G, no entanto, as mesmas não satisfazem completamente o que se pretende da banda larga sem fios, que é responder aos requisitos de *always on* ou *instant-on*, ou seja, a capacidade de arranque de um sistema instantaneamente com um processamento de dados de alto débito. A verdade é que, quer hoje, quer no futuro, os consumidores, tanto residenciais como empresariais, o que pretendem é usufruir de uma qualidade de experiência (*QoE – Quality of Experience*) de serviços diversificados de excelência. O LTE irá potenciar toda esta qualidade de experiência devido ao seu débito elevado e à sua latência muito baixa. Em consequência, os operadores móveis, seja qual for a tecnologia que possuam, têm aqui uma oportunidade única para desenvolver a sua infra-estrutura para os estilos de vida das próximas gerações, conforme pode ser verificado, na Figura 1. Agora, o importante, neste momento, é gerir bem as expectativas do consumidor no que respeita aos serviços disponibilizados em tempo real, salientando os seguintes: *VoIP, Multi-User Gaming Over IP, High Definition Video On Demand* e *Live TV*, assim como, um maior

débito e menor latência para efectuar vídeo-conferência, transferência de dados e outras necessidades do consumidor.



Figura 1 – Evolução do Mercado Relativo ao Acesso à Banda Larga [22].

Actualmente, a utilização do terminal móvel continua a crescer significativamente em locais públicos e privados, sejam empresas ou residências. Como consequência, os novos desafios que se avizinham surgirão maioritariamente durante a transição das redes 3G para o LTE, mais especificamente no desenho e planeamento das redes rádio de multi-serviços e em alguns aspectos particulares de como efectuar a priorização do tipo de tráfego ou de serviços. Hoje, a atribuição de recursos para clientes *Gold*, onde os serviços devem ter elevada qualidade e com prioridade máxima dentro da rede, pode ser uma tarefa complexa, já que a crescente popularidade de aplicações de partilha de ficheiros ponto-a-ponto (P2P) a torna muito complicada, devido ao consumo massivo de recursos neste tipo de serviços nas redes móveis actuais.

2.2 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Hoje em dia, existem diferentes tecnologias de redes móveis que têm vindo a evoluir conforme as necessidades do mercado. Os grandes agentes motivadores foram os utilizadores, e esta evolução dependeu da necessidade de ir ao encontro das expectativas dos mesmos, para além do focus na melhoria da sua qualidade de experiência.

As redes móveis surgiram com o aparecimento da primeira geração designada por, 1G, em que o sistema era inteiramente analógico. Esta tecnologia foi desenvolvida no início dos anos 80 com base nos sistemas NMT (*Nordic Mobile Telephone Network*) e AMPS (*Advanced Mobile Phone Systems*). Estes sistemas apenas permitiam comunicações de voz, com pouca autonomia e mobilidade, acrescido do facto que as chamadas eram bastante dispendiosas. A segunda geração, 2G, iniciou-se nos finais dos anos 80, início dos 90, e foi nesta geração que ocorreu a transição de sistemas analógicos para sistemas digitais. A tecnologia 2G é baseada nas técnicas de acesso múltiplo TDMA (*Time Division Multiple Access*) como é o caso do GSM (*Global System for Mobile Communication*), e ainda sistemas CDMA (*Code Division Multiple Access*). Os terminais desta tecnologia já efectuavam, para além de comunicação de voz, a transmissão de dados (sms – *Short Message Service*) e o acesso à Internet via WAP (*Wireless Application Protocol*). Estes terminais, a par das evoluções tecnológicas, reduziram o seu tamanho drasticamente e começaram a ter uma penetração no mercado como ainda não se tinha assistido até então, facto que se ficou a dever fundamentalmente ao mercado residencial impulsionado com o aparecimento dos tarifários pré-pagos e não apenas ao mercado profissional.

Em consequência do aumento de penetração acima mencionada e a massificação do acesso à internet, surge a segunda geração e meia, 2.5G, que trouxe uma melhoria ao nível da transmissão de dados com recurso às tecnologias GPRS (*General Packet Radio Service*), ritmos de transmissão até 60 kbps e mais tarde o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), também designado de 2.75G, com ritmos de transmissão até 236 kbps.

No início do séc. XXI, surge a terceira geração, 3G, baseada na tecnologia W-CDMA (*Wide-Band Code-Division Multiple Access*) que, para além de permitir maiores velocidades de transmissão de dados, 384 kbps, em relação à tecnologia 2G, também permitia a possibilidade de efectuar vídeo- chamadas.

No ano de 2005, surge a terceira geração e meia, 3.5G, que contribuiu para uma melhoria nos serviços de transmissão de dados, ao permitir transferências de dados com elevadas taxas de transmissão, 1,8 Mbps, com recurso à tecnologia HSPA. Assim, através da tecnologia HSPA, pela primeira vez, a rede móvel concorreu com os operadores de serviços de internet convencionais, uma vez que, oferece serviços multimédia via telemóvel com alta qualidade e a débitos semelhantes, para além da mais-valia relativa à mobilidade.

Uma rede LTE é *all-IP*, ou seja, todo o tráfego num sistema LTE é transportado como IP, fornecendo ligações contínuas e de alta velocidade entre o equipamento do utilizador (*UE – User Equipment*) e as redes de dados de diversos pacotes, como a Internet, IMS, redes de conteúdo e de entrega (*CDN – Content Delivery Network*). Aos vários portadores de IP existentes no sistema LTE são atribuídos identificadores específicos *QoS Class (QCLs – Quality of Service Class)* aos quais correspondem níveis de tratamento específicos para cada tipo de ligação, como a prioridade, o número de atraso e as taxas de perda de pacotes. Um UE pode ter vários portadores IP a servi-lo, onde por exemplo, um portador fornece o serviço de voz e sessões de jogo e a outros portadores, *vídeo streaming*, e-mail ou SMS.

O objectivo do LTE ao nível dos requisitos é alcançar um débito elevado na transmissão de dados, com velocidades de transmissão na ordem dos 100 Mbps, para utilizadores em mobilidade, e de 1 Gbps para utilizadores fixos, baixa latência (10 ms), mantendo uma qualidade de serviço ponto a ponto com grande segurança, e com serviços de qualquer tipo, em qualquer momento, e em qualquer lugar. O LTE continua a ser desenvolvido pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) e vai permitir inicialmente um ritmo de transmissão de pico de 100 Mbps em DL e 50 Mbps em UL (*uplink*), com uma largura de banda que vai dos 1,25 aos 20 MHz tanto para o DL como para o UL. O LTE utiliza OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) em DL e SC-FDMA (*Single Carrier Frequency-Division Multiple Access*) em UL, podendo funcionar em modo FDD (*Frequency Division Duplex*) ou em modo TDD (*Time Division Duplex*).

De acordo com a Figura 2, a convergência das tecnologias vai ser efectuada no LTE.

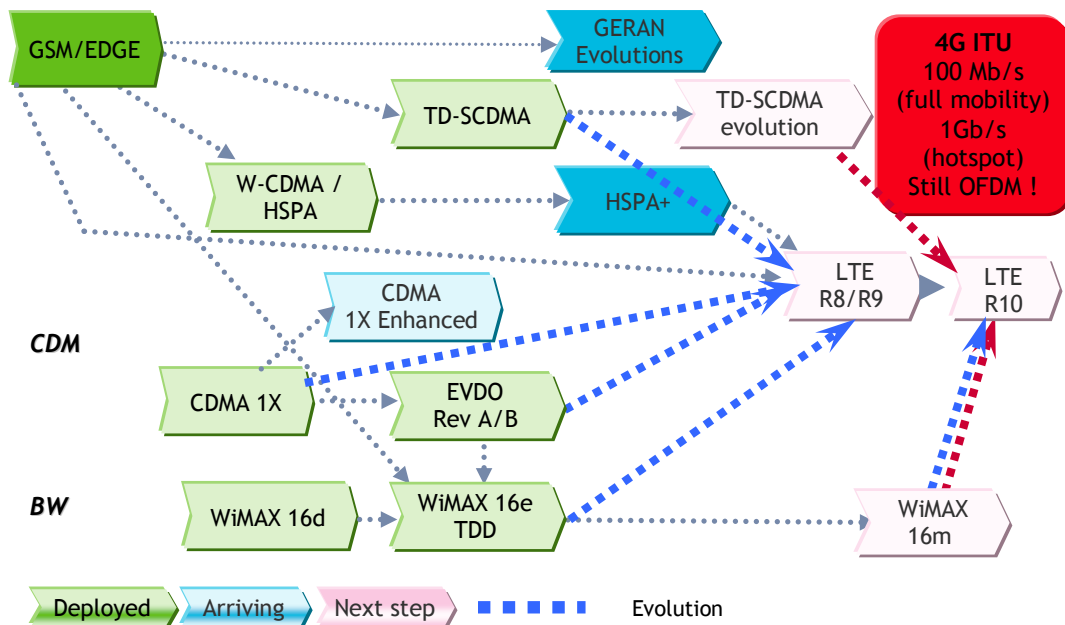


Figura 2 – Percurso Para o LTE (Fonte: [21]).

2.3 LTE – LONG TERM EVOLUTION

O LTE foi o nome designado para o sistema 4G especificado pelo 3GPP. Os objectivos desta nova tecnologia são: débito elevado, baixas latências, melhoria da eficiência espectral e arquitectura (*flat IP*), o que permitirá uma melhoria dos serviços e também uma diminuição / optimização da estrutura de custos para o operador e consequentemente para o utilizador. A Figura 3 apresenta a evolução do UMTS em direcção ao LTE.

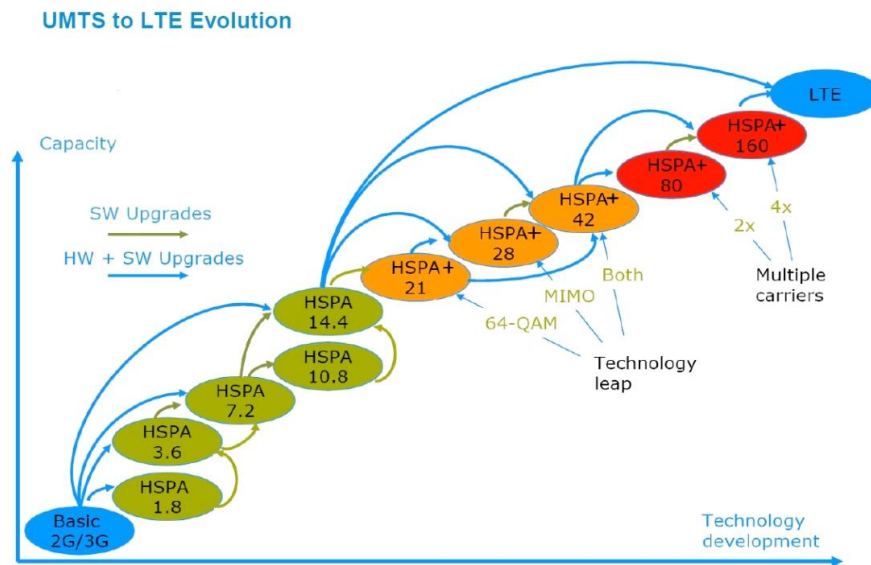


Figura 3 – Evolução de UMTS para LTE (Fonte: [21]).

A arquitectura do LTE é definida por uma arquitectura EPS (*Evolved Packet System*), sendo esta constituída pela interface E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) *Air Interface* para o LTE no lado do acesso e pelo EPC (*Evolved Packet Core*) no lado do core [21].

Em termos radioeléctricos, o LTE utiliza em DL o OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*). A transmissão é dividida no tempo por blocos de 0.5 ms em duas subtramas de 1.0 ms. As modulações utilizadas são a QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16QAM (*QAM - Quadrature Amplitude Modulation*) e 64QAM. Para o aumento do ritmo binário e melhor cobertura, utiliza-se a tecnologia MIMO (*Multiple-Input-Multiple-Output*), cujo objectivo consiste em utilizar múltiplos transmissores e receptores. Em UL o LTE utiliza o SC-FDMA e as modulações utilizadas são 64QAM, QPSK, e 16QAM.

Está previsto para o LTE taxas de transmissão até 326.4 Mbps em DL e 86.4 Mbps em UL para canais com largura de banda de 20 MHz.

Na Tabela 1, podem-se observar as características principais do LTE.

Metric	Requirement
Peak data rate	DL: 100Mbps UL: 50Mbps (for 20MHz spectrum)
Mobility support	Up to 500kmph but optimized for low speeds from 0 to 15kmph
Control plane latency (Transition time to active state)	< 100ms (for idle to active)
User plane latency	< 5ms
Control plane capacity	> 200 users per cell (for 5MHz spectrum)
Coverage (Cell sizes)	5 – 100km with slight degradation after 30km
Spectrum flexibility	1.25, 2.5, 5, 10, 15, and 20MHz

Tabela 1 – Objectivos de Desempenho para o LTE (Fonte: [21]).

2.3.1 Arquitectura LTE

A rede de acesso LTE e as redes de pacotes de core estão a evoluir em paralelo para uma arquitectura SAE (*System Architecture Evolution*) plana. Esta nova arquitectura tem como objectivos a simplificação da rede, a optimização do seu desempenho, o melhoramento da eficiência de custos e também facilitar a utilização dos serviços IP. A SAE é constituída apenas por dois nós, a estação base LTE (eNodeB) e o *Gateway* SAE, como se pode observar na Figura 4. Os eNodeB estão ligados ao core através da interface de rede RAN (*Radio Access Network*), S1. Esta arquitectura plana é uma das mais-valias do LTE, uma vez que reduz o número de nós envolvidos nas ligações [12].

Os sistemas existentes 3GPP (GSM e WCDMA / HSPA) e 3GPP2 (CDMA2000 1xRTT, EV-DO) estão integrados no sistema através de interfaces uniformizadas, o que significa uma interface de sinalização entre o SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e o core, e para o 3GPP2 uma interface de sinalização entre CDMA RAN e o core. O LTE foi concebido para manter a compatibilidade com as tecnologias GSM, HSPA e CDMA, e assim permitir mobilidade entre sistemas.

O MME (*Mobility Management Entity*) efectuará o controlo da sinalização separado do *Gateway*. O HSS (*Home Subscriber Server*) conecta-se ao core através de uma interface baseada no protocolo *diameter*, e não o SS7, usado anteriormente em redes GSM e

WCDMA. As redes de sinalização para políticas de controlo e de cobrança, já são baseadas no protocolo *diameter*, o qual assenta num protocolo de transporte TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*). O LTE-SAE adoptou um conceito de classe baseado em QoS. Deste modo, fornece-se uma solução simples e eficiente para que, os operadores possam efectuar diferenciação entre serviços/ utilizadores de dados. A Figura 4 representa a evolução da arquitectura das várias tecnologias.

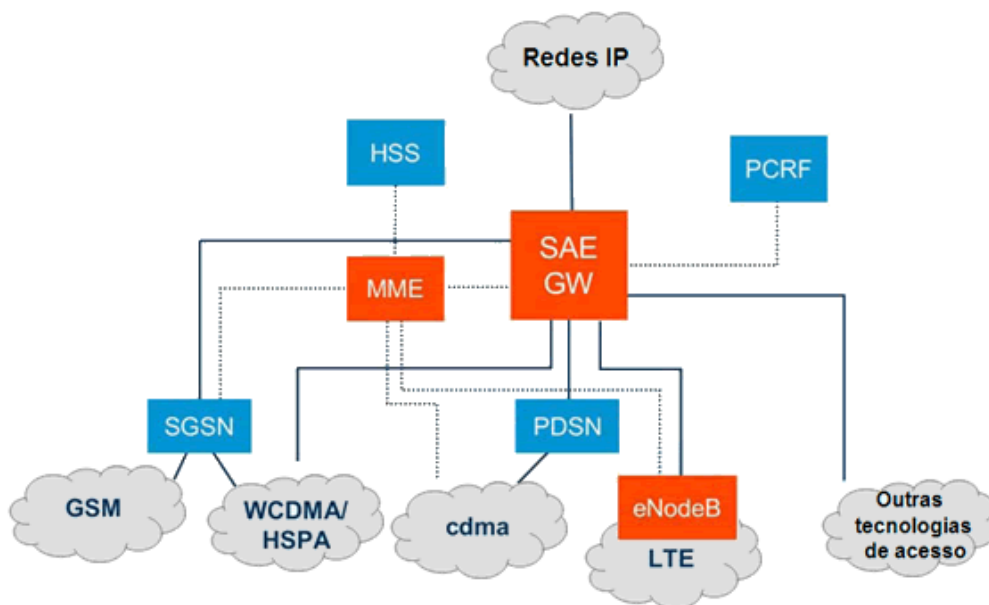


Figura 4 – Arquitectura Plana e Evolução da Arquitectura LTE (Fonte: [21]).

Constituição da Arquitectura do Sistema LTE [14]:

O *user plane* é o protocolo que gere os dados do utilizador, e que facilita a comunicação entre três identidades funcionais.

- *User Plane*, 3 Identidades Funcionais: eNode B, *Serving Gateway* e *PDN Gateway*;
 - GGSN ◊ S/P-GW (*Serving Gateway* and *PDN Gateway*).

O control plane é o protocolo que é responsável pelo controlo de estabelecimento de chamadas, gestão da mobilidade / *handovers* e o *billing* (facturação) dos serviços prestados.

- *Control plane:*
 - SGSN \diamond MME ;
 - RNC \diamond eNode B.

A Figura 5 ilustra a simplificação de rede com a introdução do LTE.

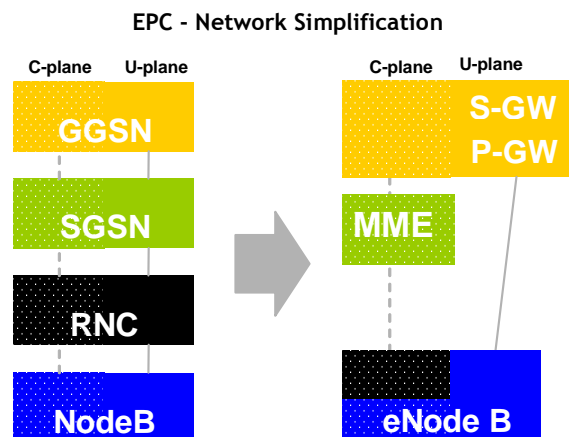


Figura 5 – Transição de 3G Para LTE (Fonte: [21]).

eNodeB:

No LTE a RAN evolui para um único nó, eNodeB. O eNB é constituído pelas camadas PHY (*Physical*), MAC (*Medium Access Control*), RLC (*Radio Link Control*) e PDCP (*Packets Data Control Protocol*) camadas essas que incluem a funcionalidade do cabeçalho de compressão do *user plane* e criptografia.

- As principais funcionalidades do eNodeB são:
 - Controlo de admissão do Rádio;
 - Planeamento de dados no UL e DL;
 - Compressão do cabeçalho IP (PDCP);
 - Outer-ARQ (RLC);
 - Planeamento de transmissão do *paging* e de *broadcast* do sistema.

S/P-GW:

SGW (*Serving Gateway*):

As rotas SGW encaminham os pacotes de dados do utilizador e ao mesmo tempo actuam como interface para mobilidade com o *user plane* durante inter-eNB *handovers*. Para além disso, também fazem de interface para a mobilidade entre o LTE e outras tecnologias 3GPP (terminando no interface S4 e retransmitindo o tráfego entre os sistemas de 2G/ 3G e GW PDN). Nos terminais em modo *Idle*, o SGW controla o caminho de dados em DL e faz o *paging* quando os dados em DL chegam ao terminal.

- As principais funcionalidades do SGW são:
 - Gestão e armazenagem de contextos dos terminais (rotas, serviços de transporte IP);
 - Replicação de tráfego do utilizador para questões legais;

PDN GW (*Packet Data Network Gateway*):

A PDN GW efectua a conectividade dos terminais para as redes de pacotes de dados externos, sendo o ponto de saída e entrada de tráfego para o terminal. O terminal pode ter conectividade simultânea com mais do que um PDN GW para ter acesso a múltiplos PDN's. O PDN GW realiza a fiscalização de políticas de filtragem de pacotes para cada utilizador, o carregamento de apoio, intercepção legal e triagem de pacotes. Outro papel fundamental do PDN GW é agir como a âncora para a mobilidade entre tecnologias 3GPP e não 3GPP, tais como o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) e 3GPP2 (CDMA 1X e EVDO).

- As principais funcionalidades do PDN GW são:
 - Faz a intercepção legal e triagem de pacotes;
 - Faz de interface para a mobilidade entre tecnologias 3GPP e não 3GPP.

MME:

O MME é o nó de controlo de acesso LTE e é responsável no estado *idle* pelo processamento de *tracking*, *paging* e de retransmissões. Para além disso, está envolvido no processo de activação / desactivação do terminal e sendo também responsável pela escolha do SGW para um terminal na fase inicial, quando ocorre o intra-LTE handover envolvendo o CN (*Core Network*). É igualmente responsável pela autenticação do utilizador / terminal através da interacção com o HSS. O NAS (*Non-Access Stratum*) de sinalização termina no MME e também é responsável pela geração e atribuição de identidades temporárias para os utilizadores / terminais. O MME verifica a autorização do utilizador / terminal para interligação com o PLMN (*Public Land Mobile Network*) e impõe restrições de *roaming* ao utilizador.

O MME é o ponto de terminação na rede para a codificação, integridade e protecção para NAS, sinalização e a gestão de segurança de chaves. A interceptação legal de sinalização também é suportada pelo MME. Este prevê também a função de plano de controlo para mobilidade entre LTE e redes de acesso 2G/ 3G com interface S3.

- As principais funcionalidades do MME são:
 - Distribuição de mensagens de *paging* para o eNB;
 - Controlo de segurança;
 - Controlo de Mobilidade no estado *Idle*;
 - Controlo do SAE;
 - Funções de protecção de Codificação e de integridade na sinalização NAS.

Na Figura 6 encontra-se representado o diagrama da arquitectura LTE.

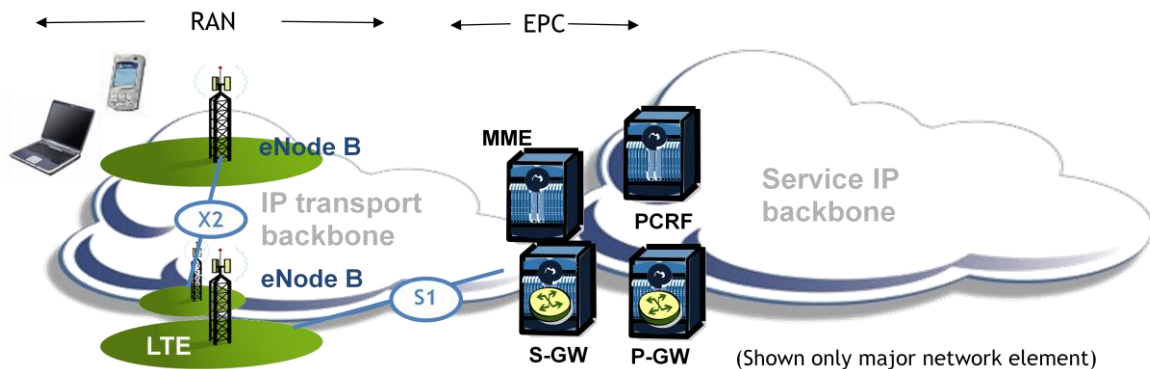


Figura 6 - Diagrama da Arquitectura LTE (Fonte:21)

2.3.2 Técnica de Acesso Múltiplo em LTE

O LTE utiliza OFDMA para o DL entre o eNodeB e o terminal. O OFDMA cumpre os requisitos do LTE, porque permite a flexibilidade do espectro e soluções de baixo custo para débitos binários elevados. O OFDMA usa um grande número de sub-portadoras de bandas estreitas e com transmissão multi-portadora. O recurso físico de DL de base LTE pode ser visto como uma matriz de tempo / frequência, conforme ilustrado na Figura 7. No domínio da frequência, o espaçamento entre as sub-portadoras, Δf , é 15 kHz. Além disso, o tempo de duração de símbolo OFDM é $1 / \Delta f + \text{prefixo cíclico}$. O prefixo cíclico é utilizado para manter a ortogonalidade entre as sub-portadoras, mesmo para um canal de rádio dispersivo no tempo. Na modulação QPSK, cada portadora utilizada pode suportar dois bits, com a modulação 16 QAM cada portadora utilizada pode suportar quatro bits, e com a modulação 64 QAM, cada portadora utilizada pode suportar seis bits. Os símbolos de OFDM são agrupados em blocos de recursos, tendo estes, uma largura de banda total de 180 kHz no domínio da frequência é de 0,5 ms no domínio do tempo (*Tslot*), onde cada transmissão no intervalo de tempo (TTI) dura 1 ms e consiste em dois slots. A cada utilizador é atribuído um número de blocos de recursos na tabela de tempo / frequência, e quantos mais blocos de recursos um utilizador receber, maior for a sua modulação, maior será o débito binário. A atribuição de blocos aos utilizadores depende de um algoritmo complexo de gestão de recursos no domínio do tempo / frequência. Este algoritmo de atribuição de recursos em LTE é extremamente parecido com os utilizados em HSPA, e possibilita um excelente desempenho para serviços diferenciados e em diferentes ambientes e condições de rádio [13].

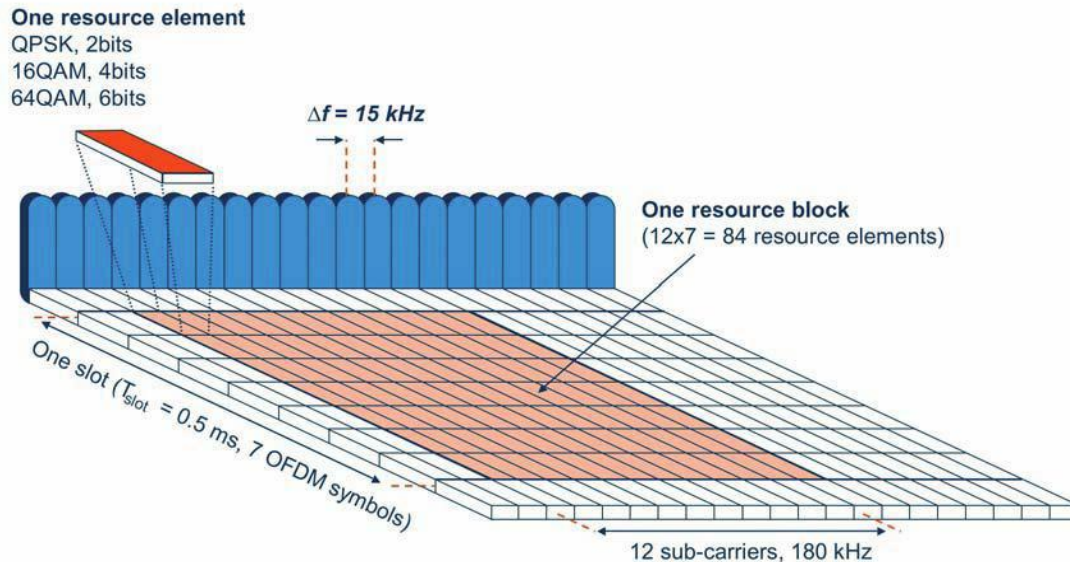


Figura 7 - LTE Downlink Physical Resource Based on OFDM (Fonte: [21]).

Para o UL, o LTE utiliza uma versão pré-codificada do OFDM chamado SC-FDMA . Esta escolha para o *uplink* foi essencialmente para colmatar a desvantagem do OFDM normal, que tem um valor de pico muito alto comparado com a média da potência (*PAPR - Peak-to-Average Power Ratio*). A elevada *PAPR* exige amplificadores de potência muito caros e ineficientes, com elevados requisitos de linearidade, o que aumenta o custo do terminal e que também consomem muita energia, fazendo com que as baterias dos terminais tenham pouco tempo de autonomia. O SC-FDMA resolve este problema agrupando os *Resources Blocks*, de tal forma que reduz a necessidade de linearidade e consequentemente, o consumo de energia no amplificador de potência. A baixa *PAPR* também melhora a cobertura e o desempenho nos limiares da célula. A capacidade efectiva de um eNodeB, de número de utilizadores, serviços prestados e área geográfica de cobertura varia de acordo com a combinação de uma série de factores, tais como a quantidade de espectro disponível, os canais de rádio, a existência ou não de linha de vista entre o utilizador e o eNodeB, o ambiente de propagação ser *indoor* ou *outdoor*, o número de assinantes que partilham a capacidade da célula, e os serviços / débitos usados e, por último, a interferência das células e móveis vizinhos.

2.3.3 Soluções de Antenas LTE

As soluções avançadas de antenas que são introduzidas na evolução do eHSPA na *Release 7*, são também utilizadas pelo LTE. Estas soluções incorporam múltiplas antenas para permitir a transmissão de dados com maior débito binário, extensão de cobertura e consequentemente, maior capacidade.

As soluções avançadas de multi-antena são as componentes fundamentais para alcançar essas metas. No entanto, não há uma solução de antena que aborde todos os cenários. Consequentemente, uma família de soluções de antena está disponível para cenários de implementação específicos. Por exemplo, se pretendermos uma configuração para elevado débito binário utilizaremos uma solução com uma antena multi-camada como 2x2 ou 4x4 MIMO, a Figura 8 ilustra uma configuração MIMO. Por sua vez, a extensão de cobertura pode ser alcançada através da técnica de *beam forming* [21].

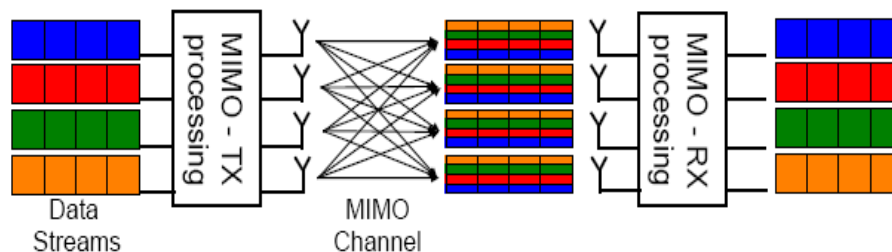


Figura 8 – Antenas MIMO (Fonte: [21]).

2.3.4 Flexibilidade de Espectro – FDD E TDD

No FDD o tráfego em DL e em UL é transmitido simultaneamente em bandas de frequências distintas. No TDD a transmissão do tráfego em UL e em DL é descontínua na mesma faixa de frequência. O LTE pode ser utilizado no espectro emparelhado FDD ou no espectro não emparelhado TDD. No geral, o FDD é mais eficiente e representa o maior número de dispositivos e de infra-estruturas, enquanto que o TDD é o ideal para complementar o espectro, ou seja, para questões específicas ou lacunas deixadas pelo FDD. Os operadores TDD vão, pela primeira vez, ser capazes de disfrutar as economias de escala que vêm dos produtos baseados em FDD. Actualmente, todos os sistemas

móveis utilizam FDD e mais de 90 % das frequências móveis do mundo estão disponíveis em bandas de frequências emparelhadas. A Figura 9, ilustra a atribuição de recursos para UL e DL em FDD e TDD. Por exemplo, se o tempo dividido entre o DL e o UL for 1/1, o UL é usado em metade do tempo. Logo, a potência média de cada ligação será então metade da potência de pico. Como a potência de pico é limitada por requisitos regulamentares, resulta que, para a mesma potência de pico, o TDD vai oferecer menor cobertura do que o FDD [19].

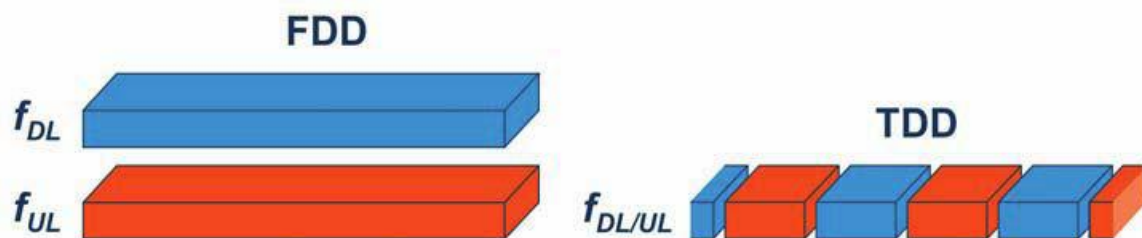


Figura 9 – Emparelhamento FDD e TDD (Fonte: [21]).

Os operadores por norma querem atribuir mais de metade dos seus recursos para DL por causa dos débitos binários e porque o tráfego de internet tem características assimétricas. Assim sendo, se a razão do DL/ UL for de 3/1, precisaremos de mais de 120 % de estações em TDD em comparação com FDD para cobrir a mesma área, conforme é apresentado na Figura 10.

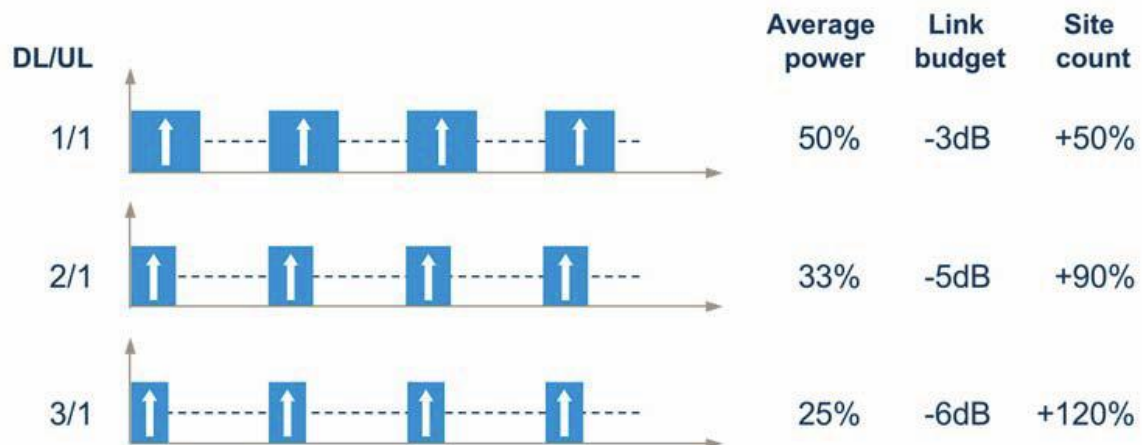


Figura 10 – Cenários de Atribuição de Recursos DL/UL (Fonte: [21]).

Na Tabela 2 apresenta-se a atribuição do espectro electromagnético para o LTE em modo FDD:

LTE BAND NUMBER	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)
1	1920 - 1980	2110 - 2170
2	1850 - 1910	1930 - 1990
3	1710 - 1785	1805 - 1880
4	1710 - 1755	2110 - 2155
5	824 - 849	869 - 894
6	830 - 840	875 - 885
7	2500 - 2570	2620 - 2690
8	880 - 915	925 - 960
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9
10	1710 - 1770	2110 - 2170
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9
12	698 - 716	728 - 746
13	777 - 787	746 - 756
14	788 - 798	758 - 768
17	704 - 716	734 - 746
18	815 - 830	860 - 875
19	830 - 845	875 - 890
20	832 - 862	791 - 821
21	1447.9 - 1462.9	1495.5 - 1510.9
22	3410 - 3500	3510 - 3600

Tabela 2 – Atribuição de espectro electromagnético para o LTE em modo FDD (Fonte: [21]).

Na Tabela 3 é apresentado a atribuição das frequências para o TDD:

LTE BAND NUMBER	ALLOCATION (MHZ)
33	1900 - 1920
34	2010 - 2025
34	2010 - 2025
35	1850 - 1910
36	1930 - 1990
37	1910 - 1930
38	2570 - 2620
39	1880 - 1920
40	2300 - 2400
41	3400 - 3600

Tabela 3 – Atribuição de espectro electromagnético para o LTE em modo TDD (Fonte: [21]).

2.3.5 Interfaces e Arquitectura LTE

Na Figura 11, podem ser observados as principais interfaces da arquitectura LTE.

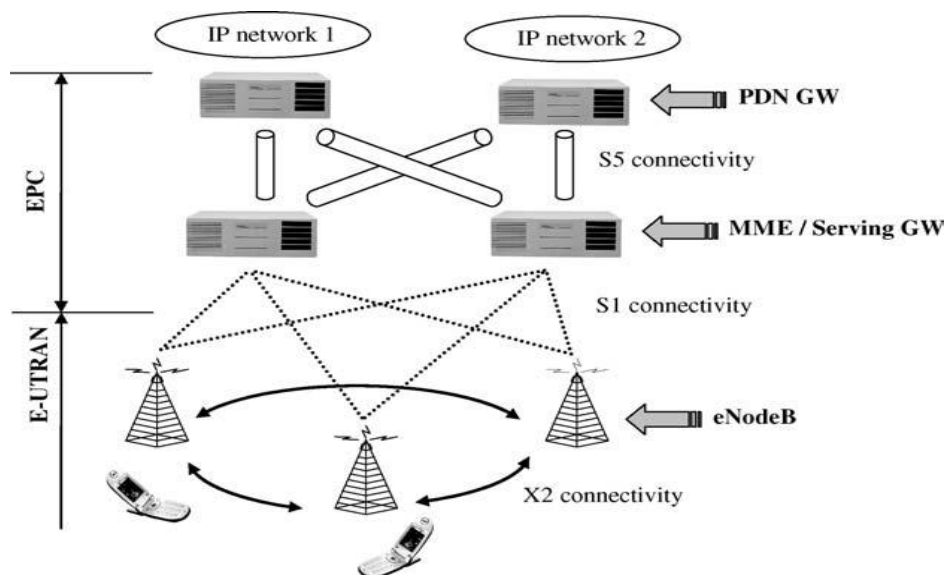


Figura 11- Arquitectura de rede LTE com os principais interfaces (Fonte: [21]).

2.3.5.1 Interface S1

A interface S1 faz a interligação entre o eNodeB e o SAE tal como ilustrado na Figura 12.

- As principais funcionalidades da interface S1 [18] são:
 - A interface S1 está dividida entre S1-CP (*control plane*) e o S1-UP (*user plane*);
 - O S1-CP vai ser baseado em SCTP e vai efectuar o transporte da sinalização;
 - O protocolo de sinalização é o S1-AP e está especificado no 3GPP;
 - O S1 é uma interface de muitos para muitos.

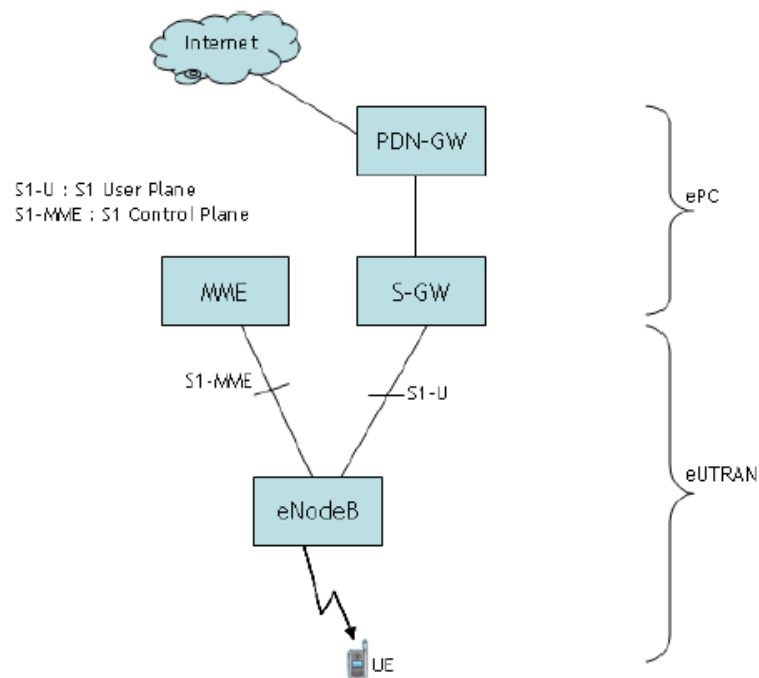


Figura 12 – Interface S1 (Fonte: [18]).

S1-flex – Funcionalidade Chave

O conceito do mecanismo S1-flex oferece suporte para redundância de rede e balanceamento de carga de tráfego através de elementos de rede no CN, MME e no SGW, criando *pools* de MME's e SGW's e permitindo que cada eNodeB possa ser conectado a múltiplos MME's e SGW's em *pool*.

2.3.5.2 Interface X2

A interface X2 surge na arquitectura LTE (ver Figura 13), para a simplificação da mesma, e é uma interface que faz a interligação directa entre eNodeBs para transferência de contextos, e funcionalidades SON (*Self Optimization Networks*), para declaração de vizinhanças.

- As principais funcionalidades da interface X2 [18] são:
 - A interface X2 é maioritariamente utilizada para efectuar suporte à mobilidade do terminal;
 - A interface X2 pode ser utilizada para funções de RRM (*Rádio Resource Management*) quando existem múltiplas células;
 - A interface X2 está dividida entre X2-CP (*Control Plane*) e o X2-UP (*User Plane*);
 - A X2-CP é baseada em SCTP e efectua o transporte da sinalização através do protocolo X2-AP;
 - A X2-UP suporta a mobilidade *loss-less* (*packet forwarding*);
 - A interface X2 é um interface de muitos para muitos.

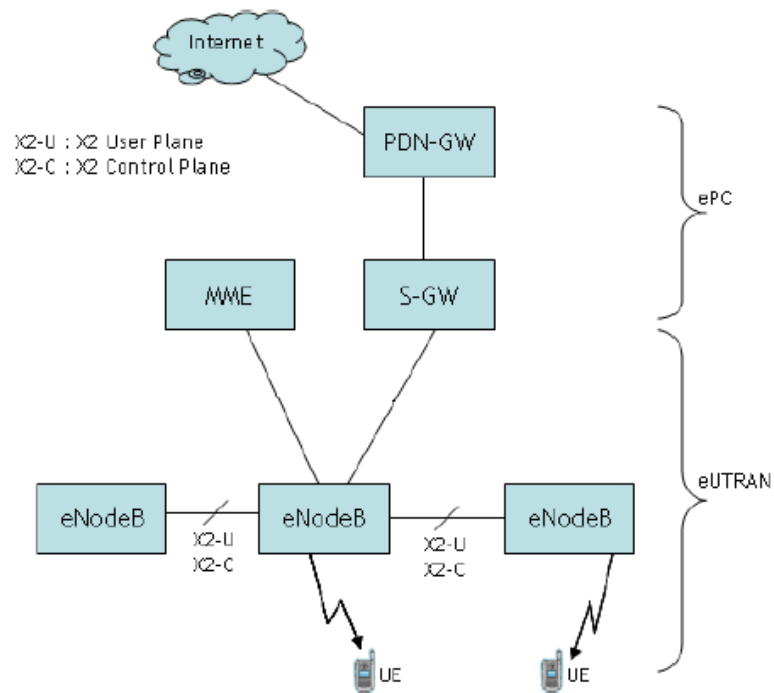


Figura 13 – Interface X2 (Fonte: [18]).

2.4 PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO DA REDE LTE

Neste ponto, pretende-se explicar o processo a aplicar no dimensionamento de uma rede de acesso LTE, para um operador que já possua uma rede móvel. O primeiro passo que se deve ter em consideração quando se pretende efectuar o desenho de uma rede, consiste em determinar o número de estações necessários e a implementação dos mesmos de acordo com os seguintes pontos [7]:

- A banda de frequência utilizada pela base instalada, caso seja aplicável;
- As bandas de frequência a serem utilizadas pelo LTE;
- A largura de banda disponível para o LTE (1.4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz);
- Pressupostos de número de assinantes e perfil de tráfego;

- Os requisitos em LTE em termos de débito binário nos limites da célula, por exemplo, débito do UL no limite da célula, dados em *best effort*, requisitos de cobertura em VoIP.

O número inicial de estações é sempre otimizado pelo estudo detalhado a ser efectuado pela engenharia de planeamento de rádio, tendo em atenção a localização dos estações, as bases de dados morfológicas e topográficas, a sua fiabilidade e a calibração dos modelos de propagação. Na Figura 14, encontra-se representado o processo de dimensionamento com os seus principais *inputs* e *outputs*.

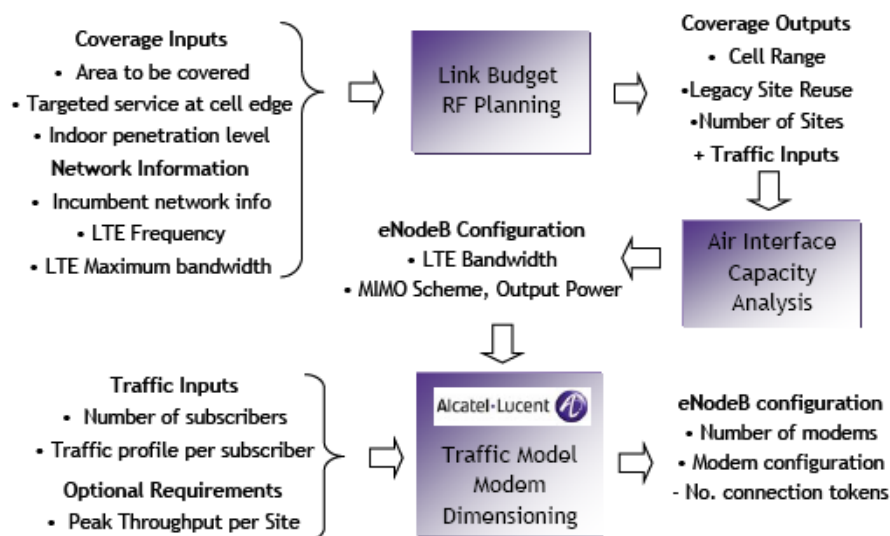


Figura 14 – Processo de Dimensionamento ALU (Fonte: [7]).

O processo baseia-se em regras avançadas de dimensionamento para análise do *link budget*, na capacidade da Interface Ar, dimensionamento do *Modem* do eNB e no modelo de tráfego multi-serviço.

A seguir são descritos sucintamente os processos necessários para efectuar o dimensionamento de uma rede, sem ainda nos focarmos no planeamento *indoor* que será estudado em 3.4.

2.4.1 Estudo do Link Budget em UL para Planeamento Outdoor Macro-Celular

O alcance máximo de cobertura de uma célula em UL é determinado pela capacidade do eNodeB de receber o sinal proveniente do utilizador com qualidade suficiente (limiar da sensibilidade) quando este está a transmitir na potência máxima, ver Figura 15.

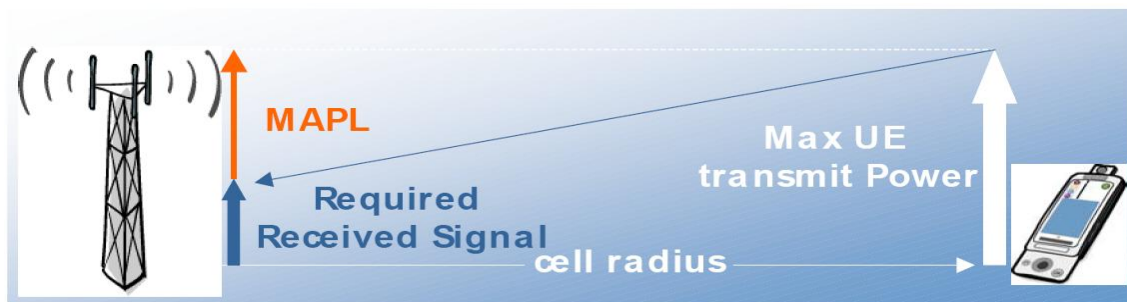


Figura 15 – Conceito do Link Budget no Uplink (Fonte: [7]).

Define-se como sensibilidade de recepção do eNodeB o limiar com que o sinal é recebido com uma qualidade que seja aceitável, sendo que esta sensibilidade vai depender dos seguintes factores [7]:

- Necessidade de débito binário no limite de cobertura da célula (*data rate targeted at cell edge*);
- Qualidade pretendida – (*Hybrid Automatic Retransmission Request*) ponto de operação (BLER - *Block Error Rate*, máximo número de retransmissões);
- As condições do ambiente de rádio (multi-canal, velocidade do terminal);
- As características de recepção do eNodeB (ruído/ interferência).

O cálculo do *link budget* de UL dos sistemas 2G e 3G incluem também o cálculo do MAPL (*Maximum Allowable Propagation Loss* ou *Pathloss*), o qual, pode ser transportado entre o eNodeB e o terminal que está no limite de cobertura da célula, mantendo a sensibilidade de recepção requerida pelo eNodeB.

Em LTE, o *link budget* de UL é calculado como sendo um serviço (*RangeUL_Guar_Serv*) que tem que ser garantido no limite de cobertura da célula. No caso de serviços que

exijam maiores débitos binários, os *links budgets* são calculados tendo em conta uma área de cobertura mais reduzida. (ver Figura 16).



Figura 16 – Valores de Throughput em UL (Fonte: [7]).

O cálculo do MAPL para um determinado serviço deve ser de acordo com a seguinte Equação 1:

$$\begin{aligned} \text{MAPL}_{j_{\text{dB}}} = & P_{\text{MaxTX}_{\text{dBm}}} + \text{Txgain}_{\text{dB}} - \text{Txloss}_{\text{dB}} + \text{Rxgain}_{\text{dB}} - \text{Rxloss}_{\text{dB}} - \text{Bodyloss}_{\text{dB}} \\ & - \text{Penetration}_{\text{dB}} - \text{Sensitivity}_{\text{dBm}} - \text{InterferenceMargin}_{\text{dB}} \\ & - \text{ShadowingMargin}_{\text{dB}} + \text{HOGain}_{\text{dB}} + \text{FSSGain}_{\text{dB}} \end{aligned}$$

Equação 1 – Cálculo do MAPL para um determinado de serviço (Fonte: [7])

Em que a definição dos parâmetros a utilizar são os seguintes:

- *P_{MAXTx}* - potência máxima de transmissão do utilizador (UE);
- *TxGain* e *TxLoss* - os ganhos e perdas de transmissão;
- *RxGain* e *RxLoss* - os ganhos e perdas na recepção;
- *BodyLoss* - são as perdas induzidas pelo utilizador que em serviços de voz representam cerca de 3 dB e em serviços de dados 0 dB. Esta diferença deve-se ao facto de que em dados, normalmente a posição do equipamento móvel estar afastado da cabeça do utilizador;

- *Penetration Margin* – Corresponde às perdas em dB, induzidas pelos edifícios, janelas, automóveis, de acordo com o objectivo pretendido de penetração;
- *Shadowing Margin* – Corresponde à margem do modelo de propagação que permite fazer a compensação da variação larga escala das perdas num percurso médio previsto;
- *HO Gain* – Corresponde ao ganho da melhor selecção da estação servidora disponível para se processar o handover;
- *FSS Gain* - Corresponde ao ganho, dependendo das condições do canal, do planeamento da frequência selectiva de seleccionar os melhores blocos de frequência por utilizador (UE).

Na Figura 17 é exemplificado o cálculo do MAPL.

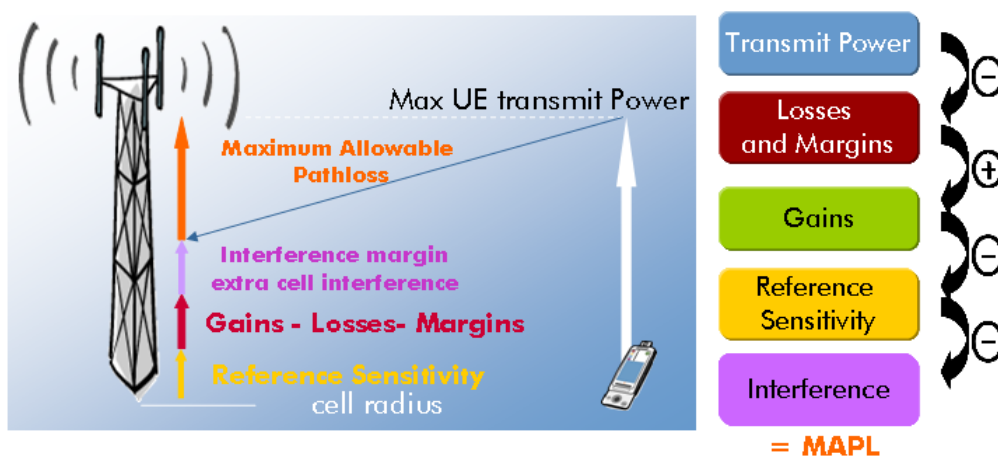


Figura 17 – Elementos do Link Budget (Fonte: [7]).

2.4.1.1 Características do Terminal

A potência máxima de transmissão de um terminal em LTE, P_{MaxTX_PUSCH} , depende da classe de potência do terminal. Actualmente, apenas existe uma classe de potência definida no 3GPP TS 36.101 [7]:

- 23 dBm de potência de output com um ganho na antena de 0 dBi.

2.4.1.2 Sensibilidade de Recepção no eNode-B

O nível de sensibilidade pode ser derivado do SINR (*Signal-to-noise interference*), podendo ser calculado ou medido em determinadas condições de rádio (ex: Canais *Multi-path* ou velocidade do terminal) consoante o objectivo de qualidade pretendido (ex: 10^{-2} BLER):

A Equação 2 representa o cálculo da sensibilidade de recepção do eNode-B [7]:

$$\text{Sensitivity}_{\text{dBm}} = \text{SNIR}_{\text{PUSCH_dB}} + 10 \text{Log}_{10} (F_{\text{eNodeB}} \times N_{\text{th}} \times N_{\text{RB(UL)}} \times W_{\text{RB}})$$

Equação 2 – Cálculo da Sensibilidade

Em que:

SINRPUSCH_dB – Corresponde à relação entre o sinal e a interferência por bloco de recursos que é necessário para alcançar um determinado PUSCH;

- $F_{\text{eNodeB}} \times N_{\text{th}} \times N_{\text{RB(UL)}} \times W_{\text{RB}}$ - Corresponde ao nível de ruído térmico total do lado do receptor eNode-B, que tenha a largura de banda necessária para alcançar a taxa de dados esperada, sendo que:
 - F_{eNodeB} – factor de ruído no lado do receptor eNodeB;
 - N_{th} – densidade do ruído térmico (-174 dBm / Hz);

- NRB (UL) - é o número de blocos de recursos (RB) necessários para atingir uma determinada taxa de dados, podendo ser deduzido a partir de simulações de selecção da melhor combinação entre SNR ou RB;
- WRB - é a largura de banda utilizada por um *Resource Block* LTE. Um bloco de recursos é composto por 12 subportadoras, em que cada uma tem uma largura de banda de 15 kHz correspondendo a um WRB de 180 kHz.

2.4.1.3 Definição de HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*)

A principal característica da interface Ar em LTE deve-se à utilização de HARQ que corresponde à combinação do ARQ com um código que permite fazer com que o sistema tenha uma maior robustez contra o fenómeno como o *fast fading* (desvanescimento rápido) através da retransmissão, sendo um fenómeno que resulta da combinação de múltiplos sinais que chegam ao receptor resultantes de reflexões ou difrações do sinal causado por obstáculos [10].

2.4.1.4 Canal Multipercurso

Para análise do *link budget* é necessário ter em conta a velocidade padrão de deslocação dos terminais e também os perfis de multi-percurso resultantes das reflexões que o sinal sofre ao longo do trajecto, variações estas que dependem da tipologia do ambiente: urbano, suburbano ou rural.

2.4.1.5 Exemplo de *Link Budget UL*

De forma a, garantir os diferentes serviços necessários no limite de cobertura da célula, o cálculo do MAPL recorre a um modelo de propagação caracterizado pelos parâmetros correctivos K1 e K2, sendo definido pela Equação 3 [7]:

$$\text{MAPL}_{\text{dB}} = \text{Min} \left(\text{MAPL}_{\text{dB}} \right) \approx K_1 + K_2 \log(R_{\text{cell}})$$

Equação 3 – Cálculo do MAPL limite da célula

Na Tabela 4 encontram-se alguns exemplos de cálculos para múltiplos serviços.

		VoIP AMR 12.2 with TTI Bundling	PS 64	PS 128	PS 384	PS 500	PS 1Mbps	PS 2Mbps
Dense Urban								
Required Data Rate	kbps	12.2	64	128	384	500	1000	2000
No. Resource Blocks		1	2	3	8	10	21	41
Used Bandwidth	KHz	180	360	540	1440	1800	3780	7380
Target C/I	dB	-3.7	-3.4	-2.9	-3.3	-3	-3.3	-3.4
eNode-B Noise Figure	dB	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
eNode-B Sensitivity	dBm	-122.6	-119.3	-117.1	-113.2	-111.9	-109.0	-106.2
Antenna Gain	dBi	18	18	18	18	18	18	18
Cable & Connector Losses	dB	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Body Loss	dB	3	0	0	0	0	0	0
Additional Losses	dB	0	0	0	0	0	0	0
Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Overall standard deviation	dB	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Shadowing Margin	dB	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
Handoff Gain	dB	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
Fast Fading Margin	dB	0	0	0	0	0	0	0
Penetration Margin	dB	21	21	21	21	21	21	21
Interference Margin	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
UE Max Transmit Power	dBm	23	23	23	23	23	23	23
UE Antenna Gain	dBi	0	0	0	0	0	0	0
MAPL	dB	131.2	130.9	128.6	124.8	123.5	120.6	117.8
Cell Range	km	0.54	0.53	0.45	0.35	0.33	0.27	0.23

Tabela 4 – Exemplo de Cálculos para Múltiplos Serviços (Fonte: [7]).

2.4.2 Estudo do *Link Budget* em DL para Planeamento *Outdoor* Macro Celular

O estudo do *link budget* em DL baseia-se nos seguintes factores (ver Figura 18) [7]:

- Para potências de transmissão de um NodeB e cenários de *deployment* mais comuns, normalmente utiliza-se uma potência de 23 dBm. Para verificar o desempenho do sistema em DL é recomendado efectuarem-se simulações ao nível do sinal do sistema com e sem MIMO;
- *Scheduler parameters* – (Ex: *tuning of the fairness of the proportional fair scheduler algorithm*) a disponibilidade de largura de banda (Ex: 10MHz vs 5MHz) são os factores principais a ter em conta para se determinar o desempenho do sistema nos limites de cobertura da célula em DL;
- Os débitos de transmissão em DL são calculados para um nível de cobertura e também terão que estar associados a serviços em UL;
- São utilizadas técnicas geométricas para se efectuarem distribuições de sinal que permitem determinar o SINR nos limites de cobertura da célula em PDSCH. Após essa determinação é possível efectuar uma estimativa do *throughput* no mesmo ponto.

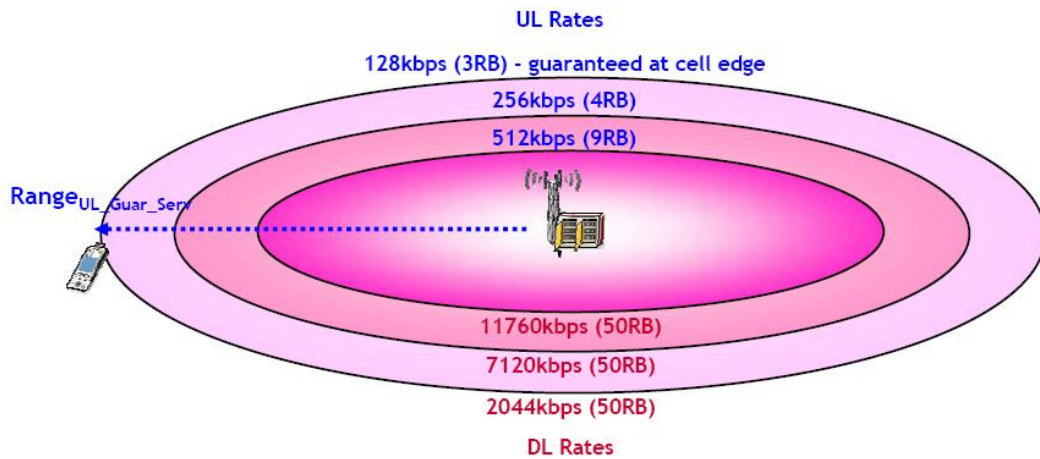


Figura 18 – Valores de *Throughput* em DL (Fonte: [7]).

2.4.3 Geometria

Se tivermos como pressuposto que todos os eNodeB transmitem com a mesma potência, a geometria num determinado ponto específico onde se encontra o terminal, é definida pela relação entre a potência total recebida nesse ponto, transmitida pelo eNodeB, onde se encontra ligado e a potência recebida de todos os eNodeB adjacentes (ver Figura 19).

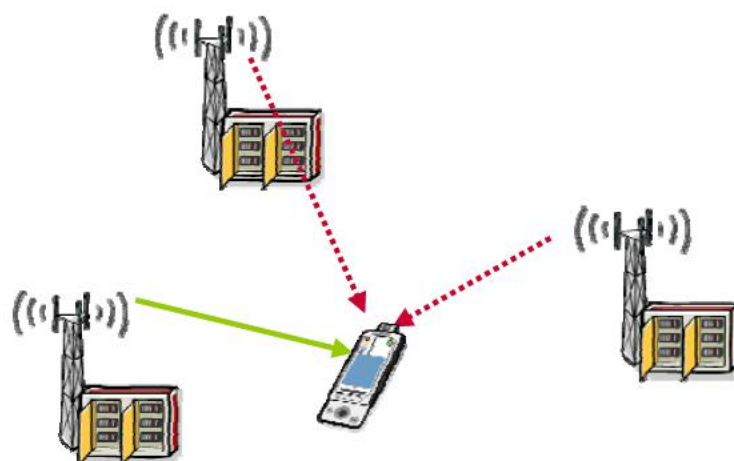


Figura 19 – Exemplo de Sinais de Transmissão que Contribuem para a Geometria em DL (Estação base Servidora a Verde e a Vermelho as Estações Adjacentes) (Fonte: [7]).

A Equação 4 representa o cálculo da geometria num determinado ponto:

$$\text{Geometria} = \text{Rx Power}_{\text{site servidor}} / \sum_{\text{All}} \text{Rx Power}_{\text{site Adjacente}}$$

Equação 4 - Cálculo de geometria (Fonte [7]).

Por conseguinte, a geometria é influenciada pelo posicionamento relativo às estações adjacentes, grau de cobertura sobreposto, tipo de ambiente de propagação rádio, e ainda a directividade das antenas do terminal e do eNB [7].

2.4.4 Modelos de Propagação

Consoante as bandas de frequências disponibilizadas pelo regulador, deverão ser utilizados os modelos de propagação de Okumura-Hata [7], COST-231 Hata [7] e Modified COST-231 Hata [7], consoante os seguintes critérios:

Para 700, 850 or 900 MHz - Okumura-Hata:

- $K1 = 69.55 + 26.16 \times \log_{10}(\text{FMHz}) - 13.82 \times \log_{10}(\text{Hb}) - a(\text{Hm}) + Kc$

Equação 5 – Cálculo de K1 (Okumura-Hata)

- $a(\text{Hm}) = (1.1 \times \log_{10}(\text{FMHz}) - 0.7) \times \text{Hm} - (1.56 \times \log_{10}(\text{FMHz}) - 0.8)$ medium-sized city

Equação 6 – Cálculo de a (Hm) (Okumura-Hata)

- $K2 = 44.9 - 6.55 \times \log_{10}(\text{Hb})$

Equação 7 – Cálculo de K2 (Okumura-Hata)

Para AWS, 1.9GHz or 2.1GHz - COST-231 Hata:

- $K1 = 46.3 + 33.9 \times \log_{10}(\text{FMHz}) - 13.82 \times \log_{10}(\text{Hb}) - a(\text{Hm}) + Kc$

Equação 8 - Cálculo de K1 (COST-231 Hata)

- $K2 = 44.9 - 6.55 \times \log_{10}(\text{Hb})$

Equação 9 - Cálculo de K2 (COST-231 Hata)

Para 2.6GHz - modified COST-231 Hata: (COST-231 Hata is limited to 1.5GHz to 2GHz)

Baseado em medida para frequências entre 2.5GHz a 3.5GHz:

- $K1 = 46.3 + 33.9 \times \log_{10}(2000) + 20 \times \log_{10}(\text{FMHz}/2000) - 13.82 \times \log_{10}(\text{Hb}) - a(\text{Hm}) + Kc$

Equação 10 - Cálculo de K1 (modified COST-231 Hata)

- $K2 = 44.9 - 6.55 \times \log_{10}(\text{Hb})$

Equação 11 - Cálculo de K2 (modified COST-231 Hata)

Em que:

- O FMHz representa a frequência de operação em MHz;
- Hb é a altura da antena do eNodeB em metros;
- Hm é a altura da antena do terminal em metros (tipicamente é assumido 1.5m);
- O factor de correcção Kc, é utilizado dependendo do tipo de ambiente (tipicamente são utilizados valores calibrados de campanhas de testes já efectuados).

2.4.5 Área da Estação

Com o recurso à ferramenta de planeamento, a qual já tem embebido, os modelos de propagação, mapas morfológicos e topográficos, as características de cada estação base (localização, altura e modelo das antenas), efectua-se o cálculo individual por estação (ver Figura 20) e depois de toda a rede.

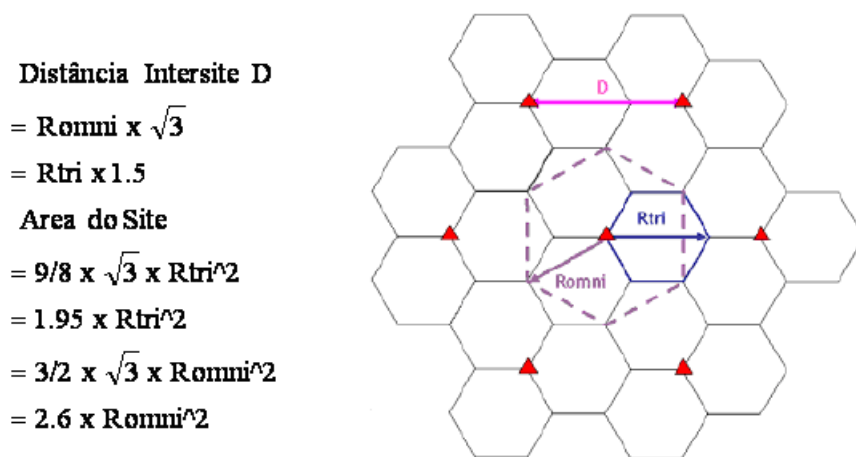


Figura 20 – Distância inter-estação e área do estação (Fonte: [7]).

A relação entre o alcance da célula e a área da estação para 3 sectores é definida pela Equação 12 – Cálculo área da :

$$\text{Area do Site} = \frac{9 \sqrt{3}}{8} R_{\text{serviço UL}}^2 = 1.95 R_{\text{serviço UL}}^2$$

Equação 12 – Cálculo área da estação

Com base nestes cálculos, pode-se alterar o número de eNB necessários para cobrir uma determinada área.

2.4.6 Capacidade do Interface Ar

A capacidade da rede LTE na interface ar deve ser quantificada segundo as seguintes métricas [17]:

- Capacidade VoIP>CVoIP (tipicamente definida em *Erlangs*);
- Capacidade de Dados, CData (tipicamente definida em bps/Hz ou Mbps para uma determinada largura de banda).

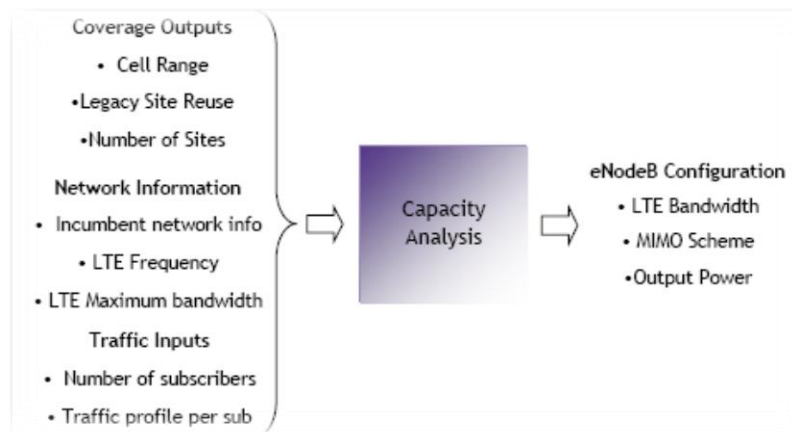


Figura 21 – Inputs e Outputs para o Dimensionamento da Capacidade do Interface Ar (Fonte: [17]).

2.4.6.1 Capacidade da Interface Ar no Uplink

Na Tabela 5 encontram-se os resultados do estudo efectuado à capacidade da Interface Ar em UL para uma portadora LTE por sector, para larguras de banda de 5, 10 e 20 MHz para o NGMN (*Next Generation Mobile Networks*), com mobilidade do terminal reduzida, ISD (*Inter-Site Distance*) =1732 m e um cenário de cobertura limitado.

- Os valores de capacidade são para cenários de tráfego apenas com um serviço. Neste caso, assume-se que as capacidades apenas se aplicam à portadora que apenas suporta tráfego de voz;

- A capacidade de dados é uma média agregada dos débitos da interface Ar;
- As capacidades apresentadas são para a implementação de estações com três sectores.

Bandwidth	UL Config. Name	VoIP AMR12.2 C_{VoIP_UL}	Spectral Efficiency	Data, C_{Data_UL}
5 MHz	2RxDiv	162 Erl	0.61 bps/Hz	3.1 Mbps
10 MHz	2RxDiv	324 Erl	0.62 bps/Hz	6.2 Mbps
20 MHz	2RxDiv	648 Erl	0.64 bps/Hz	12.7 Mbps
5 MHz	4RxDiv	208 Erl	0.79 bps/Hz	3.9 Mbps
10 MHz	4RxDiv	416 Erl	0.80 bps/Hz	8.0 Mbps
20 MHz	4RxDiv	831 Erl	0.82 bps/Hz	16.3 Mbps

Tabela 5 - Capacidade do Interface Ar em LTE no *Uplink* (Fonte: [17]).

2.4.6.2 Capacidade do Interface Ar no *Downlink*

Na

Tabela 6 encontram-se os resultados do estudo da capacidade efectuado à interface ar em DL para uma portadora LTE por sector, para larguras de banda de 5, 10 e 20 MHz para o NGMN com mobilidade do terminal reduzida, $ISD = 1732$ m e um cenário de cobertura limitado. O estudo foi efectuado com as configurações SIMO 1x2 e MIMO 2x2.

Bandwidth	UL Config. Name	VoIP AMR12.2 C_{VoIP_DL}	Spectral Efficiency	Data, C_{Data_DL}
5 MHz	SIMO 1x2	263 Erl	1.33 bps/Hz	6.7 Mbps
10 MHz	SIMO 1x2	529 Erl	1.36 bps/Hz	13.6 Mbps
20 MHz	SIMO 1x2	1036 Erl	1.36 bps/Hz	27.1 Mbps
5 MHz	MIMO 2x2	273 Erl	1.48 bps/Hz	7.4 Mbps
10 MHz	MIMO 2x2	539 Erl	1.48 bps/Hz	14.8 Mbps
20 MHz	MIMO 2x2	1055 Erl	1.48 bps/Hz	29.6 Mbps

Tabela 6 - Tabela do Interface Ar em LTE no Downlink (Fonte: [17]).

O grau de serviço da interface ar para serviços de VoIP sobre o sistema LTE não está definido tal como acontece no GSM e WCDMA, e por conseguinte, foram tidos em conta os seguintes requisitos [17]:

- O utilizador VoIP está sem serviço ou não satisfeito, se 98% da latência desse utilizador for maior que 50 ms;
- A capacidade do sistema é definida através do número de utilizadores na célula em que pelos menos 98% dos mesmos está satisfeita.

Na Figura 22 está ilustrada a variação da capacidade de uma célula segundo a combinação do serviço VoIP e dados, para três larguras de banda distintas 3, 5 e 10 MHz.

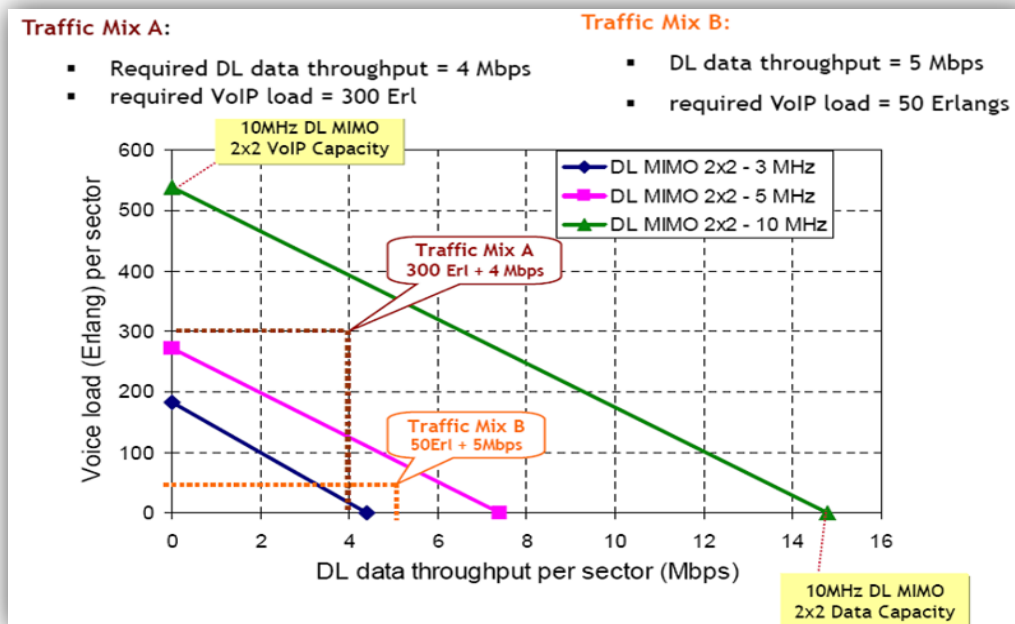


Figura 22 – Exemplo de Capacidade LTE (Fonte: [17]).

2.4.7 Modelos de Agregação de Tráfego

Os operadores de telecomunicações efectuam o dimensionamento das suas redes, de forma a terem capacidade para suportar o tráfego gerado nas horas de pico (maior volume de tráfego). Logo, o dimensionamento de uma rede deve ter em consideração as variações do tráfego ao longo de todo o dia. No entanto, também não se pretende uma rede sobredimensionada em que apenas se tem em consideração o pico máximo de tráfego para se efectuar o dimensionamento. O que é pretendido é um dimensionamento baseado em estatísticas de ganhos de serviço multiplexados resultantes das múltiplas fontes de tráfego, introduzindo requisitos de grau de serviço (GoS), sendo esta a probabilidade de congestão. Em LTE existem vários recursos que necessitam de ser dimensionados no eNB: a capacidade da interface ar, a potência de transmissão total em DL, os recursos de banda de base (número de conexões em simultâneo), as interfaces S1/X2 [19].

Em LTE, os recursos são partilhados entre diferentes classes de serviços e por conseguinte, necessitam de critérios diferentes. O dimensionamento de recursos com

diversos tipos de serviços é difícil e complexo. Por exemplo, se apenas se efectuar a aplicação dos modelos de *Erlang-B* ou *Erlang-C*, independentemente de cada serviço, e efectuar o somatório dos resultados, não vai traduzir a partilha real dos recursos, até porque a maioria dos serviços funcionará sobre comutação de pacotes. Como tal, são necessárias, algumas regras para dimensionar o número de recursos necessários quando temos vários tipos de serviços, sendo estas, designadas por Modelos de Agregação de Tráfego [19].

2.4.7.1 Inputs e Outputs do Modelo de Agregação de Tráfego

O objectivo do Modelo de Agregação de Tráfego é dimensionar o número de recursos necessários para suportar um determinado conjunto de serviços. Cada serviço requer um diferente número de recursos e terá um diferente GoS.

O sistema LTE é um sistema de multi-serviços, ou seja, várias classes de serviços são partilhadas na interface rádio. O serviço da portadora difere no seguinte:

- Débito binário;
- Requisitos de tempo (*Real Time* e *Non Real Time*);
- Grau de Serviço (GoS);
- Assimetria do tráfego em UL e DL.

O modelo de agregação de tráfego de saída corresponde à quantidade final de recursos que satisfaça o GoS de todos os serviços (ver Figura 23).



Figura 23 – Inputs e Outputs do Modelo de Agregação de Tráfego (Fonte: [19]).

2.4.7.2 Método Média do Rácio dos Picos de Tráfego

Um método simples de agregação de tráfego que pode ser aplicado a um sistema com multi-serviços é calculado através da média de rácios dos vários picos de tráfego. Este método necessita de *inputs* de cada um dos tipos de serviço (N) e da agregação de tipo de fluxos de serviços (STk) [19]:

- m_k - método do tráfego necessário por cada utilizador;
- P2Ak - indicação do GoS, e refere quantos recursos estão aprovisionados para um determinado tráfego agregado para uma amostragem com todos os utilizadores, e para um determinado tipo de serviço;
- N_k - quantidade de recursos para um tipo de serviço k.

A capacidade necessária para uma agregação de tráfego (CA) corresponde à quantidade de recursos que permitam corresponder a um determinado grau de serviço, sendo calculado pela Equação 13:

$$CA = \sum_{k=1}^N N_k \times m_k \times P2A_k$$

Equação 13- Cálculo de agregação de tráfego

2.4.7.3 Aproximação Gaussiana Assimétrica Para Agregação do Tráfego

O modelo de assimetria Gaussiana de Agregação de tráfego é um modelo que permite o cálculo da capacidade de tráfego necessária para um determinado fluxo. Este cálculo é baseado na agregação de tráfego que é gerado por diferentes fontes com diferentes características para uma determinada probabilidade de *overflow* (capacidade requerida ser inferior à capacidade disponível).

Assumindo um determinado fluxo de tráfego de tipo intermitente (On/Off), a agregação desses fluxos resulta num fluxo de agregação onde o rácio gerado é caracterizado por uma função de distribuição probabilística (pdf(x)= Rácio de probabilidade de agregação do fluxo = x) [19].

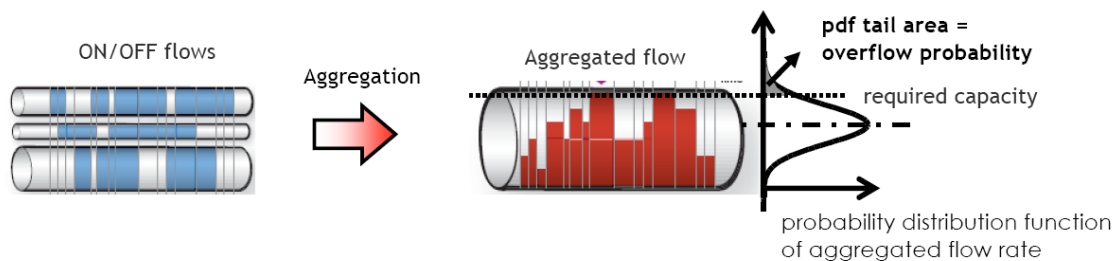


Figura 24 – Esquema de Fluxo de Tráfego (Fonte: [19])

2.4.7.4 Extensão da Lei Erlang B de Mono-Serviços para Multi-Serviços

Os modelos clássicos *Erlang-B* e *Erlang-C* não satisfazem os requisitos de um ambiente de multi-serviços. Assim, para os casos de multi-serviços foi criado um modelo de extensão do *Erlang-B* que se designam por algoritmos de Knapsack e Kaufmann-Roberts.

2.4.7.4.1 Algoritmo Knapsack

O algoritmo Knapsack ou multi-serviço *Erlang-B* é uma extensão da lei *Erlang-B* aplicada a vários serviços de voz que são originados na mesma fonte. Tendo conhecimento do número total de recursos ou capacidade disponíveis, este modelo de cálculo a probabilidade de bloqueio para cada serviço e a intensidade do tráfego prevista por cada serviço [19].

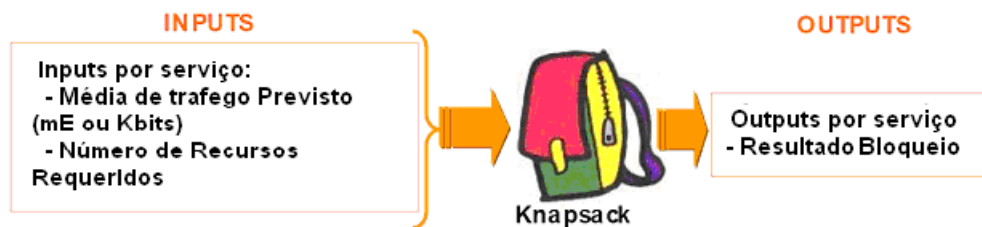


Figura 25 – Algoritmo Knapsack Inputs e Outputs (Fonte: [19])

Na Figura 26, pode-se observar um exemplo de variação da probabilidade de bloqueio de um serviço (B_1) em função da combinação de recursos necessários por dois serviços (ρ_1, ρ_2) em que ambos partilham a mesma *pool* de recursos [19].

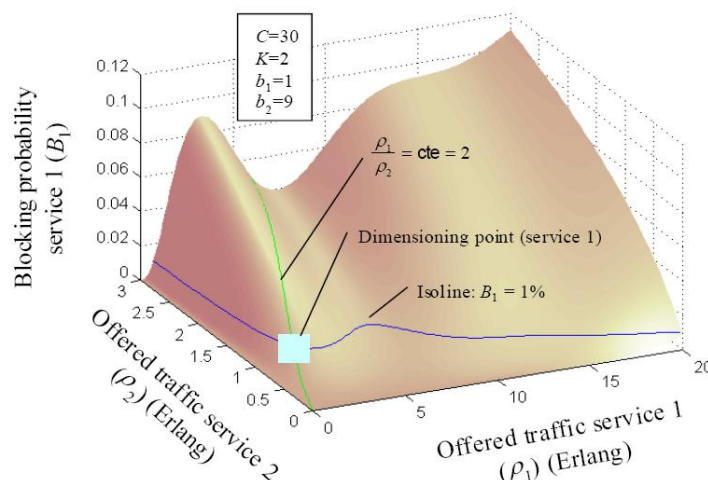


Figura 26 – Exemplo do Comportamento Knapsack (Fonte: [19])

É visível nas curvas 3D, que a combinação de dois serviços com diferentes necessidades de recursos pode levar a um comportamento distinto, como por exemplo a diminuição da probabilidade de bloqueio enquanto o tráfego (p_1) aumenta.

2.4.7.4.2 Algoritmo Kaufman-Roberts

O algoritmo Knapsack requer a definição de todos os estados possíveis, e respectivas combinações, além do cálculo de todas as probabilidades associadas. Este método é muito intensivo em termos de cálculos, o que não é bem o que se pretende no dimensionamento de uma rede, muito devido ao tempo que é necessário para efectuar o mesmo.

Ao contrário do algoritmo Knapsack, o algoritmo Kaufman-Roberts é um algoritmo recursivo, o que possibilita o cálculo da probabilidade de bloqueio com baixa complexidade. Este algoritmo calcula recursivamente o acumulado de probabilidades de cada estado em que uma determinada quantidade de recursos está ocupado. Desta forma, é mais fácil e rápido, efectuar os cálculos com ferramentas de dimensionamento [19].

2.5 PLANEAMENTO *RF INDOOR*

Planear uma rede de rádio *indoor* com pequenas células em edifícios pode ser uma tarefa extremamente complexa e difícil. Para além das questões técnicas, existem uma série de questões legais, logísticas, e outras a considerar, desde o início. No entanto, a qualidade do desenho da rede é a chave para criar uma solução *indoor* sustentável que esteja preparada para albergar ao longo do tempo as gerações móveis. Em termos de arquitetura, o LTE introduz novas preocupações e é mais complexo do que 2G ou 3G. Os requisitos de capacidade devem ser cuidadosamente considerados, juntamente com o impacto da rede *Outdoor*. Para além disso, características como as tecnologias MIMO e *beam forming* têm de ser tidos em conta, bem como o planeamento *end-to-end*, integração e validação de redes IP e aplicações.

Para se efectuar um planeamento *indoor* deve-se ter em consideração o número de utilizadores que se pretende que sejam servidos pela infra-estrutura a implementar. Após termos a informação do número de utilizadores, devemos-nos focar na topologia do espaço (número de andares, área coberta, área descoberta, zonas públicas e privadas) de forma, a estabelecer uma solução dedicada nas áreas privadas e públicas. A distribuição do número de utilizadores pelo espaço, e também a qualidade de experiência que o utilizador deverá ter, o nível de cobertura e a capacidade esperada, são também *inputs* necessários para o desenho do sistema.

2.5.1 Desenho da Rede

O desenho de rede de uma infra-estrutura *indoor* dever ter em consideração os pontos discriminados em baixo, que são baseados em resultados experimentais e de muitos *surveys* efectuados em edifícios, de forma a melhorar a assertividade do planeamento de rádio *indoor*.

Os pontos a ter em consideração são os seguintes:

- Identificação dos constrangimentos da área de cobertura;
- Modelo de tráfego;
- Impacto no desempenho do sistema rádio e capacidade de tráfego;
- Equipamento a utilizar;
- Soluções a implementar e *link budget*;
- Relatório global da solução para aprovação.

2.5.1.1 Objectivo de Cobertura

Num projecto de cobertura *indoor* um dos principais pontos a considerar é a gestão correcta da interferência entre o ambiente *indoor* e o ambiente *outdoor*. Um projecto de cobertura *indoor* é implementado, onde já existe uma cobertura *outdoor*, logo, a regra é não afectar a qualidade da rede *outdoor* e a sua capacidade devido ao aumento da

interferência nas áreas *outdoor* causado pela introdução dum sistema indoor. Um sistema *indoor* com um eNB dedicado não pode ser implementado sem um sistema distribuído de antenas DAS (*Distributed Antenna System Solution*). O sistema DAS requer um planeamento com algum cuidado para se efectuar a definição da localização e quantidade de antenas, passagem de cabos e equipamentos passivos, como *splitters* e *tappers*, para a distribuição do sinal RF. A implementação deste sistema é bastante demorada devido a complexidade que advém da estrutura interna de um edifício [20].

Para uma cobertura eficaz e mitigação da interferência entre as coberturas *indoor* e *outdoor*, é importante avaliar o sistema *outdoor* existente através de medidas de sinal e de penetração do sistema *indoor*. Os valores de, RSRP (*Reference Signal Received Power*), da cobertura *outdoor* envolvente ao sistema *indoor*, como os valores em frente das janelas dos edifícios, devem ser tidos em conta para um bom planeamento *indoor* e uma coexistência dos dois sistemas com qualidade.

Com base na informação RSRP, com as plantas do edifício e com as medidas *indoor*, é possível determinar a melhor localização das antenas (localização nominal), de forma a, ter por cada piso do edifício uma célula *indoor best server*, e no exterior do edifício uma célula *outdoor best server*.

Os critérios de RF [20] que suportam estas recomendações por tipologia estão discriminados abaixo.

Para terceiros andares ou acima deve ter-se em consideração os seguintes pontos:

- Garantia de uma cobertura com qualidade e uma boa capacidade em cada piso;
- Garantia de um sinal com a potência suficiente para cumprir o seguinte requisito:
 - RSRP da Célula *Indoor* = RSRP + 3 dB da célula *Outdoor*

Para o Rés-do-chão, primeiro e segundo pisos, devemos ter em consideração dois cenários de cobertura Outdoor:

Cenário 1: Lacuna de Cobertura (buraco) ou cobertura deficiente do sistema *outdoor*

- RSRP célula Macro ≤ -120 dBm;
- Não existe nenhum problema específico em ter uma lacuna de cobertura, pois o sistema *indoor* consegue efectuar a cobertura de parte da rua com melhor qualidade do que sistema *outdoor*. O RSRP para o sistema *indoor* deve ser maior do que -95 dBm dentro do edifício e à frente da janela.

Cenário 2: Boa cobertura do sistema *outdoor*

- RSRP célula macro > -110 dBm;
- As células *outdoor* não devem ser distribuídas na implementação do sistema *indoor*;
- O RSRP para o sistema indoor deve ser maior do que -95 dBm dentro do edificio e à frente da janela;
- RSRP da célula indoor deve assegurar o seguinte requisito: RSRP da célula indoor = RSRP da célula outdoor ± 2 dB em frente às janelas, na entrada do edifício ou na entrada do shopping;
- Com base nestes critérios a interferência entre as celulas indoor e outdoor não será muito alta.

As recomendações / pressupostos de planeamento de rede para a distância entre a antena e a janela mais próxima são [20]:

- Os obstáculos de propagação indoor têm entre 1m e 1,8 m de altura;
- RSRP célula macro = -95 dBm.

Estes pressupostos acima descritos, servem para definir a célula *indoor best server*, e a mesma não interferir com o sistema *outdoor* que se encontra no exterior do edifício. A Tabela 7 refere os valores a serem considerados para as distâncias a cumprir para instalação das antenas.

Referência do sinal EIRP sobre toda a banda	-15 dBm	-10 dBm	-5 dBm	0 dBm
A distância da janela ou entrada mais próxima	10m	20m	30m	50m
A distância da parede mais próxima	0m	0m	5m	20m

Tabela 7 – A Distância mínima para a Posição da Antena [20]

2.5.1.2 Equipamentos

Os equipamentos tipo a utilizar numa implementação de uma cobertura *indoor* estão listados abaixo, em que as quantidades terão que ser definidas e ajustadas conforme o planeamento / dimensionamento de rádio.

Equipamento a utilizar:

- Equipamento *Multi-Standard*;
- Antenas;
- *Splitters*;
- *Tappers*;
- Cabo coaxial 7/8" (valor dependente da localização da sala técnica, antenas e calhas técnicas);
- Cabo coaxial de 1/2";
- Fibra óptica.

2.5.1.3 Link Budget

O link budget é o somatório de todos os ganhos e perdas que existem a partir do transmissor, através do meio (espaço livre, cabo coaxial, fibra óptica) para o receptor num sistema de telecomunicações. É responsável também pelo cálculo da atenuação do sinal transmitido, devido à propagação, bem como dos ganhos das antenas e perdas diversas. As atenuações são contabilizadas, acrescentando alguma margem, dependendo da gravidade e da previsão dos seus efeitos. O valor da margem exigida pode ser reduzido pelo uso de técnicas de mitigação, tais como a diversidade de antena.

3 RNP LTE

O objectivo deste capítulo é efectuar um planeamento teórico de cobertura *indoor* e *outdoor* para a tecnologia LTE e a definição de configurações e critérios para todas as simulações a efectuar, as quais, serão posteriormente comparadas com as medidas a colectar de ambas as implementações.

- RNP INDOOR: Sede ALU

O planeamento *indoor* vai ser efectuado para a nova sede da ALU PT em Cascais, tratando-se de um edifício moderno com dois pisos, com características futuristas, espaço de trabalho constituído por *open space* e paredes exteriores envidraçadas que incorporam materiais reflectores. É por isso um exemplo de um ambiente de propagação complexo.

- RNP OUTDOOR: *Trial Paris*

O planeamento *outdoor* vai ser efectuado para três estações base em ambiente, urbano, num zona de Paris, onde serão efectuados testes e recolha de medidas de campo, pretendendo-se analisar a capacidade e qualidade de experiência do utilizador nos limites de cobertura da célula.

3.1 FERRAMENTAS DE PLANEAMENTO E TESTE

Tanto o planeamento RF *indoor* como o *outdoor* vai ser efectuado com base numa ferramenta de rádio desenvolvida pela *Forsk* para a ALU (ver Anexo I), RNP (*Radio Network Planning*) 9955, tendo esta sido disponibilizado pela empresa Alcatel-Lucent para se poder efectuar as simulações para esta dissertação. Em consequência de ser uma ferramenta interna o seu código não pode ser disponibilizado. Assim sendo, e de forma a compreender o seu funcionamento, são fornecidas as suas principais características. Para além desta aplicação, será também utilizada a ferramenta MapInfo e o equipamento de teste Agilent W1314A-200 (ver Anexo II).

3.1.1 Características da Ferramenta RNP 9955

A ferramenta 9955 é uma ferramenta chave que se baseia num modelo de propagação calibrado para se efectuar um planeamento RF com fiabilidade. Hoje em dia existem duas estratégias para estimar atenuação de propagação. Uma estratégia é obter um modelo empírico de propagação a partir de dados de medição, a outra é usar um modelo de propagação teórico. O modelo SPM (*Standard Propagation Model*) consiste no complemento de dois modelos de propagação, o modelo Okumura-Hata e o modelo COST-HATA, em que ambos se baseiam em fórmulas empíricas e num conjunto de parâmetros. O 9955 possui valores padrão para os 3 modelos de propagação SPM, WinProp e Volcano. No entanto, os parâmetros podem ser alterados de forma a ajustar o modelo de propagação e consequentes simulações de cobertura de acordo com as reais condições de propagação e resultados práticos obtidos. Este processo de calibração melhora a eficiência da previsão da ferramenta e permite obter resultados mais fiáveis.

3.1.2 Características da Ferramenta de Planeamento MapInfo

A aplicação MapInfo é uma ferramenta de referenciação geográfica. No âmbito da dissertação, esta ferramenta serve para se efectuar o mapeamento das medidas colectadas através de *drive-testes*, as quais estão geo-localizadas graças à utilização de um GPS (*Global Positioning System*). O processo de mapeamento é efectuado através da importação do mapa extraído da aplicação Google Earth® e da importação das medidas colectadas nos *drive-testes*. De seguida, é possível elaborar mapas temáticos que permitem a visualização gráfica dos dados recolhidos, os quais estão distribuídos geograficamente sobre uma zona do mapa em estudo, o que facilita a análise e a verificação da qualidade de cobertura de uma forma assertiva. Esta ferramenta suporta a importação de formatos de dados de Microsoft Excel®, Microsoft Access® ou de bases de dados, como por exemplo, Oracle®, Microsoft® SQL Server.

3.1.3 Características da Ferramenta de Teste Agilent

A ferramenta de teste Agilent é uma ferramenta essencial para se efectuarem os *drive-tests*. É constituída por uma componente de hardware (W1314A RF) e outra componente de software (E6474A).

O W1314A RF pode ser constituído por um ou mais módulos de *scanner*, que permitem fazer medições de nível de sinal por tecnologia e canal, e por um GPS para geo-localização dos dados recolhidos.

A aplicação E6474A corre num *Personal Computer (PC) standard*, a qual permite controlar e configurar o módulo W1314A, bem como os UEs (*User Equipment*) utilizados. Esta ferramenta é de fácil configuração e permite visualizar os dados à medida que os mesmos estão a ser recolhidos, tendo as seguintes características:

- Receptor multi-tecnologia;
- Realização de medições simultâneas multi-tecnologia durante um único *drive-test*;
- Suporta as tecnologias LTE, UMTS, GSM, CDMA2000 1xEVDO, iDEN, Mobile WiMAX™, CW e Análise Espectral;
- Toda a análise da colecta de medições é efectuada pelo hardware do receptor minimizando assim os requisitos de processamento do computador.

Robusto e fiável

Equipamento robusto, blindagem RF. 12 canais GPS integrados ou 50 canais de alta sensibilidade.

GPS com um USB 2.0 *High-Speed*, o que reduz a necessidade de *hardware* adicional e cablagem.

Escalabilidade

Possibilidade de carregar quatro aparelhos através de porta USB de carregamento, sem prejudicar o desempenho de medição.

Possibilidade de *upgrade* de *software* para permitir trabalhar com novas tecnologias emergentes de forma a prolongar o tempo de vida do equipamento.

Características Físicas

Equipamento bastante leve e com baixo consumo de energia.

Plataforma E6474A

Interface de utilizador bastante flexível e com possibilidade de personalização. Possui uma alta capacidade de geração de eventos e de pós-processamento.

3.1.4 Características da Ferramenta RNP *IBwave*

IBwave é uma ferramenta de planeamento rádio que está integrada na ferramenta RNP 9955:

- *iBwave* é constituído por três módulos principais: módulo unidade, módulo de propagação e módulo de Optimização.
- O módulo de optimização é um módulo *add-on* que requer o módulo de propagação para funcionar e se aceder as licenças de software de desenho da ferramenta *iBwave*.
- O módulo de optimização suporta CDMA baseado em tecnologias (HSPA, 1xEVDO, WCDMA) e GSM, GPRS, EDGE, TDMA, IDEN, WiMAX, LTE e WiFi.

3.1.5 Características do UE (User Equipment)

Foi utilizado o UE LG 7 para efectuar medidas reais no ambiente *outdoor*, o qual é, um *dongle* USB, com as seguintes características:

Hardware:

- Funcionalidades: banda 7 do 3GPP, *chipset* L2000, *data rate* máximo de 120 Mbps;
- Transmissão: Maxima Tx Power - 23 dBm, largura de banda – 5/ 10 e 20 MHz, Modulação – 16 QAM e não suporta diversidade em Tx;
- Recepção: MIMO – 2x2, largura de banda – 5/ 10 e 20 MHz, Modulação – 64 QAM e suporta diversidade em Rx.

Software:

- *PC interface & Tools* : USB Ethernet;
- Autenticação & Identidade: Módulo de Identidade – USIM, Autenticação - EPS – AKA baseado em USIM;
- IP Version: suporta tanto IPv4 como IPv6;
- Suporta mecanismos de QoS tal como definidos no 3GPP R8.

3.2 RNP – OUTDOOR: TRIAL PARIS

3.2.1 Planeamento Outdoor

Durante o processo de planeamento, é necessário estipular algumas fases de processamento (ver Figura 27).

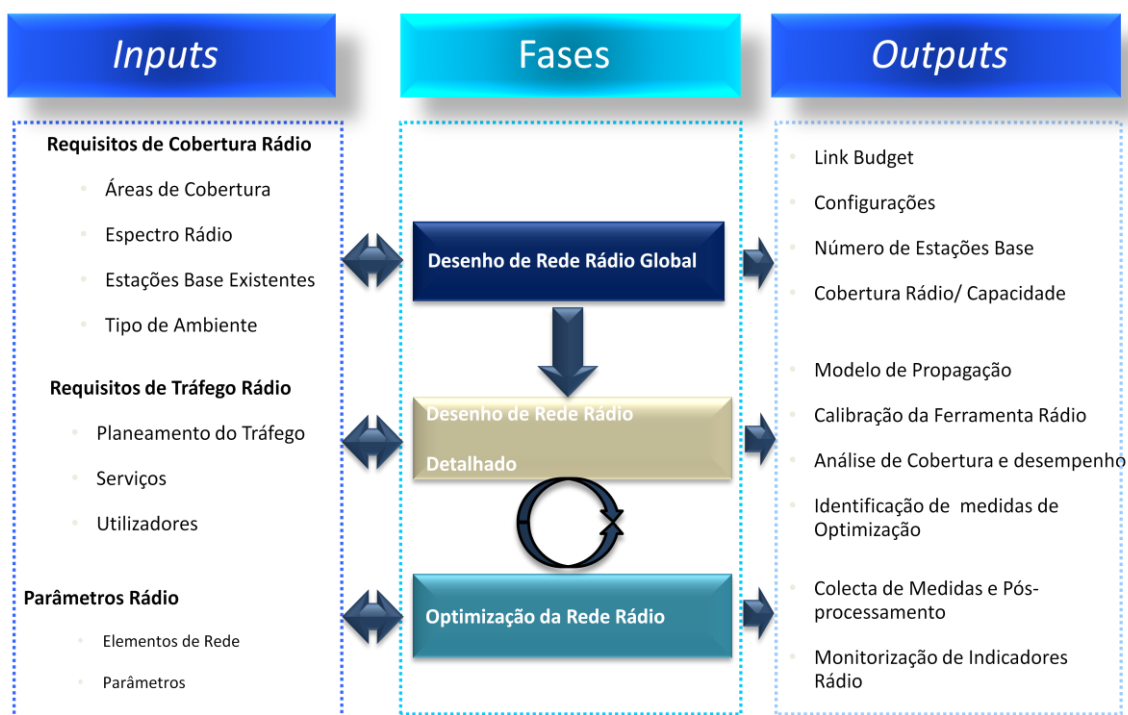


Figura 27 – Fases de Processamento no Planeamento de uma Rede Móvel.

Numa primeira fase, é necessário desenhar a arquitectura de rede, onde estará representada a sua localização geográfica e a localização de cada estação base. Como neste caso vamos utilizar estações base já existentes, apenas teremos de definir o modelo de propagação e efectuar o *link budget*.

O primeiro passo que tem de ser dado no processo de planeamento de rádio é a calibração da ferramenta RNP 9955. Só após esse passo, é que se pode proceder ao planeamento de uma rede LTE *outdoor* para uma área ou zona. A segunda fase é analisar e estudar o comportamento rádio da rede, de forma a se poder calcular a

cobertura de rede nessa zona. No caso da cobertura de rede não corresponder à cobertura pretendida, terá de se efectuar um processo de optimização antes de se efectuar a implementação no terreno da solução pretendida.

A terceira fase do processo, a qual acontece após a implementação da rede, é a realização de *drive-testes* para a recolha de medidas e de monitorização da rede. Este processo permite efectuar re-calibrações no modelo de propagação utilizado e também a realização de pequenas optimizações da rede.

Para o cálculo de *throughput* em LTE é necessário definir os seguintes 4 parâmetros [7]:

- Tipo de Serviço;
- Tipo Mobilidade;
- Perfil de utilizador (*standard* ou *business*);
- Tipo de Ambiente (denso urbano, urbano, suburbano e rural).

3.2.1.1 Calibração do Modelo de Propagação

Foi utilizado o modelo de propagação *Modified COST-231 Hata* [7] para realizar o planeamento de cobertura. Para mais informação acerca deste modelo de calibração por favor ver ponto 2.4.3.

A Tabela 8, ilustra a calibração do modelo de propagação na ferramenta de planeamento utilizada, no que refere às classes de cluter.

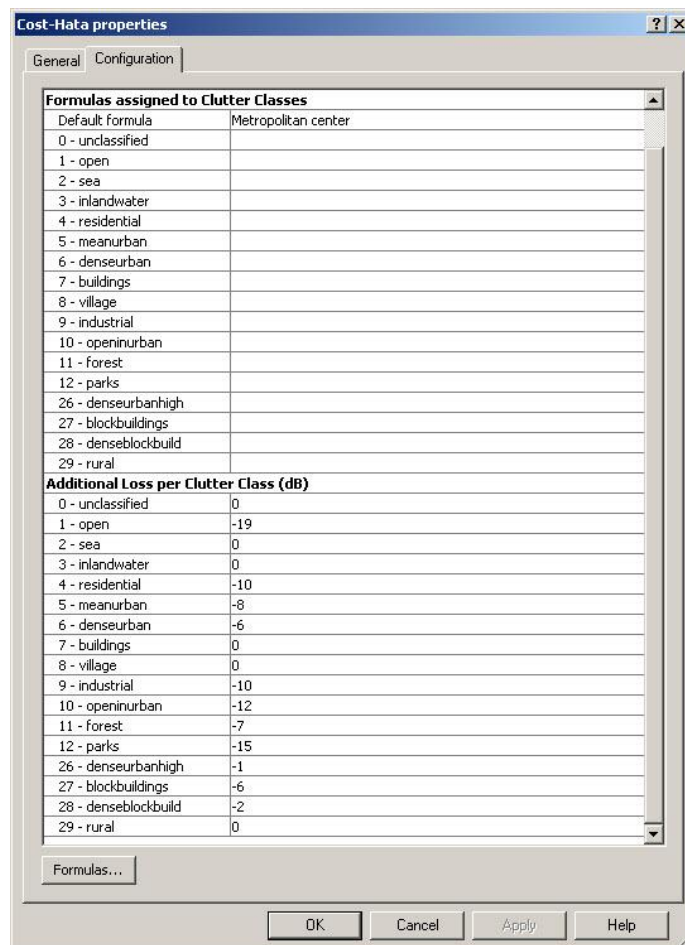


Tabela 8 – Calibração do Modelo de Propagação.

3.2.2 Link Budget Outdoor – Trial Paris

O *link budget Outdoor* foi efectuado para uma zona urbana, na cidade de Paris, onde se utilizaram três localizações existentes, propriedade de um operador francês, e após um estudo inicial de cobertura, o desenho da rede consistiu em 3 estações base, em que duas estações base têm 2 sectores e a outra estação base tem 1 sector. Para além disso, discriminou-se todo o tipo de equipamento e material a utilizar com as devidas quantidades e as respectivas especificações técnicas dos equipamentos. O dimensionamento para a cobertura *outdoor* será em modo FDD na banda de frequências de 2600 MHz com uma largura de banda de 20 MHz e com 100 RB (*Resource Blocks*). Na Tabela 9, são apresentadas as informações de banda de Frequências e principais parâmetros utilizados.

Frequency band (MHz)	FDD Band	TDD Band	UL Frequency	DL Frequency	FDD eNode-B Noise Figure	TDD eNode-B Noise Figure	UE Noise Figure	Propagation Model	
								DU_U	SU_RU
2600 MHz	7	38	2535,0 MHz	2655,0 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231 Modified	COST-231 Modified
		3-sector Antenna Gain	Cable Losses (Tower RF Module)	Cable Losses (Base RF Module)	Penetration Margin				
					Dense Urban	Urban	Suburban Indoor	Suburban Incar	Rural Incar
		18	0,8	1,2 dB	21	18	15	9	9

Tabela 9 - Banda de Frequências e Parâmetros.

Na Tabela 10, são apresentadas as características principais do LTE.

FDD Mode	1.4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15 MHz	20MHz
Slot duration	0.5 ms					
Sub-frame duration	1 ms (=2slots)					
Sub-carrier Spacing	15kHz (7.5kHz for MBMS)					
Sampling frequency	1.92 MHz	3.84 MHz	7.68 MHz	15.36 MHz	23.04 MHz	30.72 MHz
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048
Number of sub-carriers	72	180	300	600	900	1200
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100
OFDM symbols per slot	7 (short CP), 6 (long CP)					
CP length	4.96s x6, 5.21s x1 (Short) / 16.67s (Long)					

Tabela 10 - Características chave do LTE.

Na Tabela 11, é apresentado um sumário do *link budget* para um ambiente urbano, e para um serviço PS 128. O número de estações considerado está relacionado com a área efectiva de cobertura que se pretende cobrir, a probabilidade de cobertura (95%), a morfologia urbana e a utilização de MIMO.

UL Cell Edge Rate Target	PS 128
Cell Range for Rate Target	0,62 km
MAPL for Rate Target	130,4 dB
Number of Sites for Rate Target	3 Sites/ 5 Sectores
DL Cell Edge Rate	6636 kbps
DL SINR	-1,7 dB

Tabela 11 – Sumário do *link budget* para uma área urbana.

Na Tabela 12 pode-se analisar os valores correspondentes a UL, cobertura da célula e MAPL, e no DL o throughput e o SINR.

	UL Cell Range	UL MAPL	DL Throughput	DL SINR
PUSCH (ACK)	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
PUCCH (ACK)	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
PUCCH (8 bit CQI)	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
Attach Procedure	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
VoIP AMR 12.2	0,10 km	102,12 dB	104186 Kbps	29,33 dB
VoIP AMR 12.2 (TTI)	0,22 km	114,59 dB	56766 Kbps	18,87 dB
PS 15	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
PS 32	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
PS 64	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
PS 128	0,62 km	130,41 dB	6636 Kbps	-1,71 dB
PS 256	0,49 km	126,77 dB	15429 Kbps	4,17 dB
PS 384	0,42 km	124,62 dB	20838 Kbps	6,84 dB
PS 512	0,40 km	123,53 dB	23284 Kbps	8,06 dB
PS 768	0,35 km	121,86 dB	28099 Kbps	9,87 dB
PS 1000	0,33 km	120,57 dB	30222 Kbps	11,18 dB
PS 2000	0,27 km	117,62 dB	40281 Kbps	14,05 dB
PS 5700	0,19 km	112,22 dB	57206 Kbps	19,00 dB
PS 10000	0,16 km	109,17 dB	72530 Kbps	21,89 dB
PS 20000	0,11 km	103,67 dB	94513 Kbps	26,78 dB
PS 30000	0,09 km	99,70 dB	106528 Kbps	30,24 dB
PS 40000	0,07 km	96,60 dB	111134 Kbps	32,78 dB
PS 50000	0,06 km	93,23 dB	115642 Kbps	35,22 dB

Tabela 12 – Valores de Link Budget de UL Cell Range, UL MAPL, DL Throughput e DL SINR.

Na Tabela 13, é apresentado um sumário dos parâmetros de UL e DL.

UL Parameter Summary	
Multipath Channel Model	VehA 3km/h
Tower Mounted RF Module	Yes
TMA	No
UE Configuration	Indoor - 0 dBi - Omni
UL Interference Margin	3,0 dB
eNode-B Antenna Height	25,0 m
Shadowing Standard Deviation	8,0 dB
Cell Area Coverage Probability	95%
Shadowing Margin	8,6 dB
Handoff Gain	3,6 dB
Penetration Margin	18 dB
UE Antenna Gain	0 dBi
Extra UL Losses	0,0 dB

DL Parameter Summary	
RF Module	RRH 2x40
DL eNode-B Tx Power / Path	40,0 W
# DL Transmit Paths	2
DL Adjacent Cell RB Loading	50%
Extra DL Losses	0,0 dB

Tabela 13 - Sumário dos Parâmetros de UL e DL.

O *link budget* apresentado foi efectuado com base nas fórmulas apresentadas no capítulo 2, e para o qual foram consideradas as principais componentes que estão descritas nos *inputs* da Figura 27.

3.2.3 Planeamento de Cobertura *Outdoor* – *Trial Paris*

O objectivo de um planeamento de uma rede móvel é atingir os seguintes requisitos:

- Cobertura Adequada - Cobertura contínua com valores de potência e qualidade e sem lacunas;

- Capacidade de Tráfego - O planeamento deve estar de acordo com o tráfego da hora de ponta e com um valor mínimo da probabilidade de bloqueio;
- Qualidade de Serviço (QoS) - O serviço disponibilizado deve ter o melhor valor possível de QoS (*Best Effort*);
- Escalabilidade – Deve-se ter em conta que o número de clientes pode ser alterado, e que isso pode implicar um novo desenho da rede ou expansão da mesma;
- Custos – O desenho da rede deve ser simples e eficaz, porque terá uma maior rentabilidade, e logo, mais lucro.

A área de cobertura está directamente relacionada com o nível de sinal recebido, e portanto, o sinal transmitido na interface ar deverá ter uma potência suficientemente forte, de forma a se poder cumprir os requisitos de cobertura. A Figura 28 demonstra a localização das estações base LTE da cobertura *outdoor*, que estão localizadas em algumas ruas na cidade de Paris. Estas estações pertencem a um operador móvel francês e por questões legais a sua identidade não é divulgada.

Este cluster de testes (trial) é constituído por uma estação base com um (1) sector e duas estações base com dois (2) sectores (ver

Tabela 14). Pretende-se obter a cobertura na área em seu redor (~2km²), ao nível dos seus acessos e zonas circundantes. Para estes ensaios foi disponibilizado pela Alcatel-Lucent o sistema LTE e as respectivas ferramentas de medida.

Estação	Transmitter	Antenna	Height (m)	Azimuth (°)	Mechanical Downtilt (°)
1	37	65deg 18dBi 7Tilt 2600MHz	18	120	0
1	38	65deg 18dBi 6Tilt 2600MHz	18	240	0
2	43	65deg 18dBi 6Tilt 2600MHz	20	120	0
2	44	65deg 18dBi 4Tilt 2600MHz	20	240	0
3	40	65deg 18dBi 5Tilt 2600MHz	21	240	0

Tabela 14 – Parâmetros Rádio das estações base

testes, devido a problemas de equipamento (alarmes), e também, de modo a não interferir com o desempenho do sistema durante os ensaios.

- Estação base 3 (sector 41): Este sector não foi considerado no desenho da rede final, devido à sua cota efectiva ser bastante elevada. Se este sector tivesse sido considerado teríamos uma sobreposição sobre a estação base 2. Assim, e de modo a eliminar o espalhamento elevado do sector 41, optou-se por o desactivar. Na Figura 29 pode ser analisado o espalhamento do sector 41, se tivesse sido considerado.

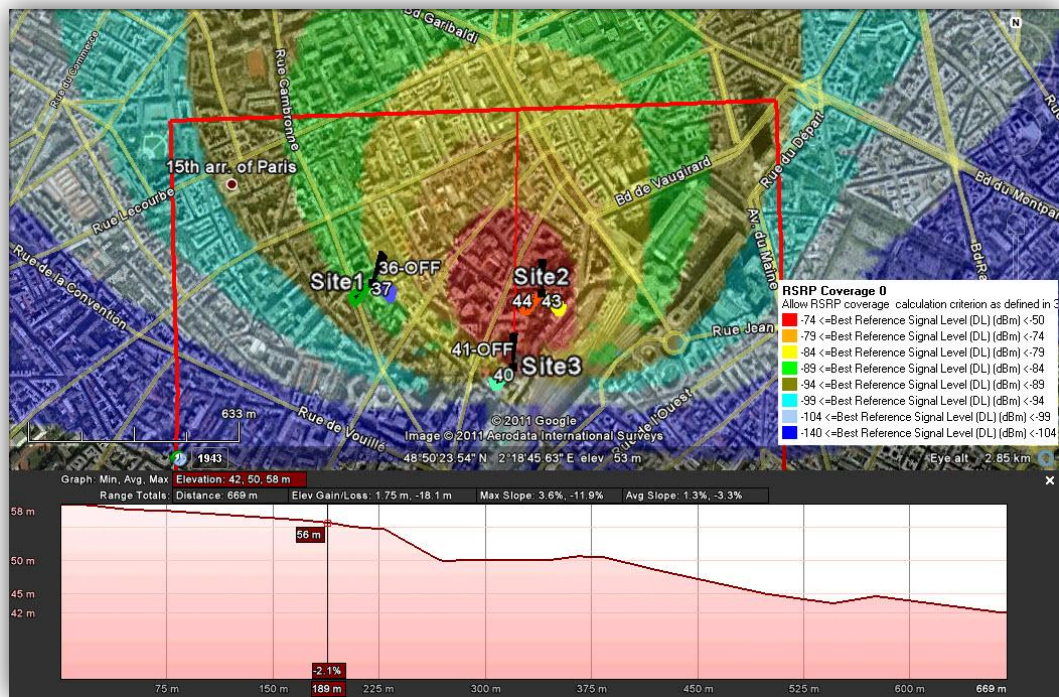


Figura 29 – Sector 41 desactivado

Com o suporte da ferramenta RNP 9955, foi possível efectuar um planeamento de rádio *outdoor*, obtendo-se as seguintes figuras:

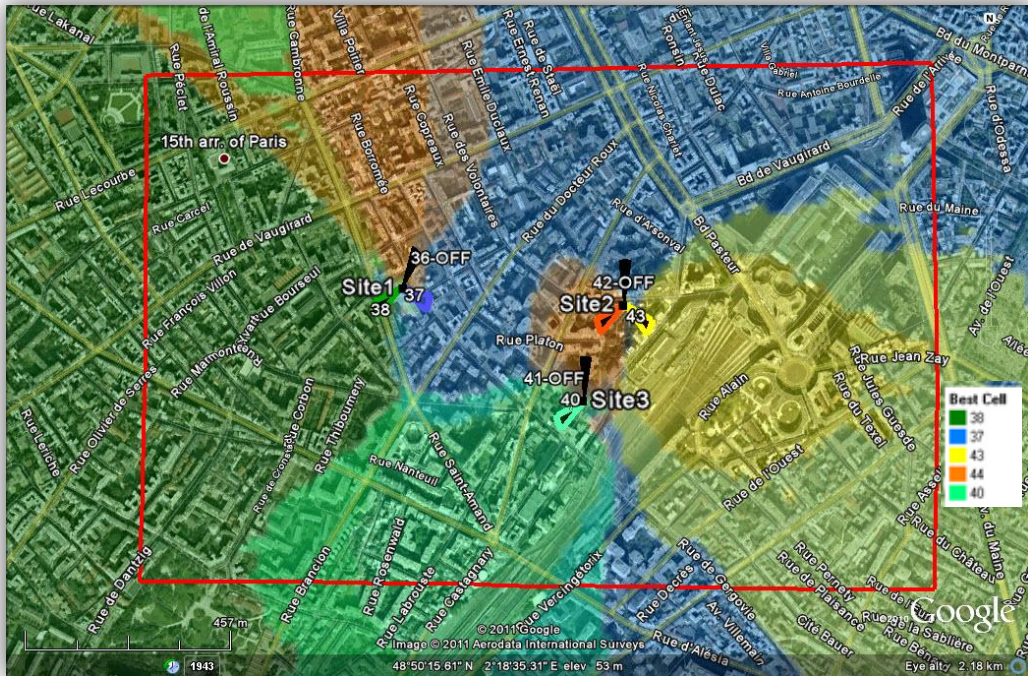


Figura 30 – Mapa de Cobertura de melhor célula.

Na Figura 30 encontram-se representadas as coberturas das células com melhores níveis de cobertura (*best server*) de cada estação base. Como se pode verificar não houve necessidade de ter o sector 1 (41) do estação 3, pois esta área de cobertura é garantida pelo sector 3 (44) da estação base 2.

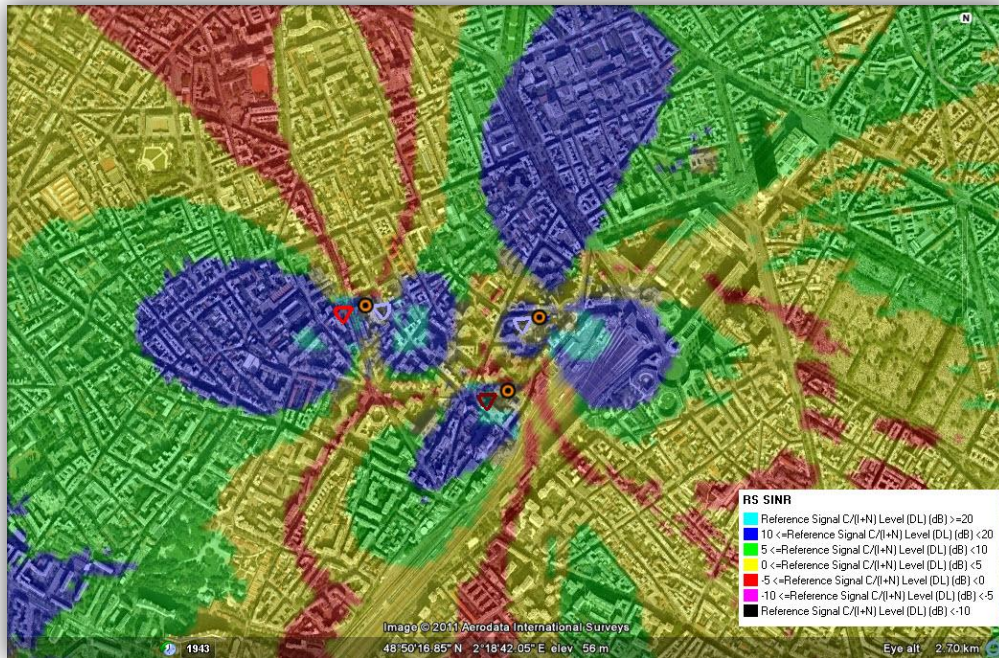


Figura 31 – Mapa de Cobertura SINR.

Na Figura 31, é apresentada a análise do SINR que representa a relação entre o sinal, a interferência e ruído que é esperado na área de cobertura pretendida. Os valores oscilam entre os -10 e os 20 dB. Os valores de SINR para serem considerados bons devem estar acima dos 0 dB.



Figura 32 – Mapa de Cobertura de RSSI.

Um dos mais importantes indicadores rádio em LTE é o RSSI (*Received Signal Strength Indication*), o qual nos fornece a indicação do nível de potência recebida pelo utilizador conforme é ilustrado na Figura 32.

Na área de serviço dos sectores, os níveis de RSSI estão dentro dos valores pretendidos, ou seja, oscilam entre os – 59 a -89 dBm.

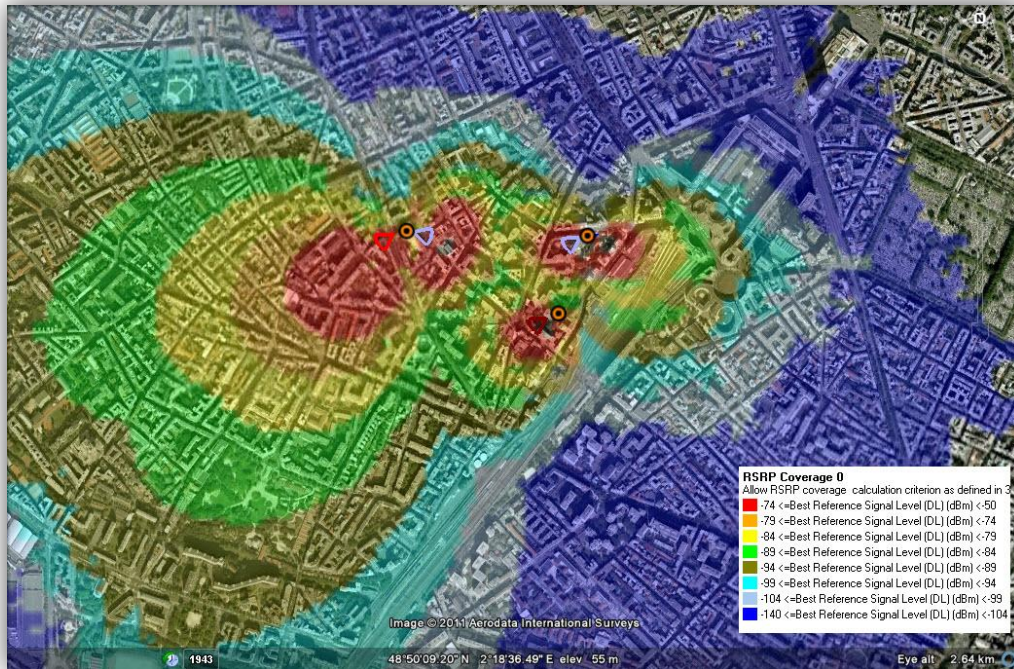


Figura 33 - Mapa de Cobertura RSRP.

O RSRP é representado na Figura 33, sendo este o indicador que nos permite verificar qual a referência da potência do sinal recebido da cobertura *outdoor*.

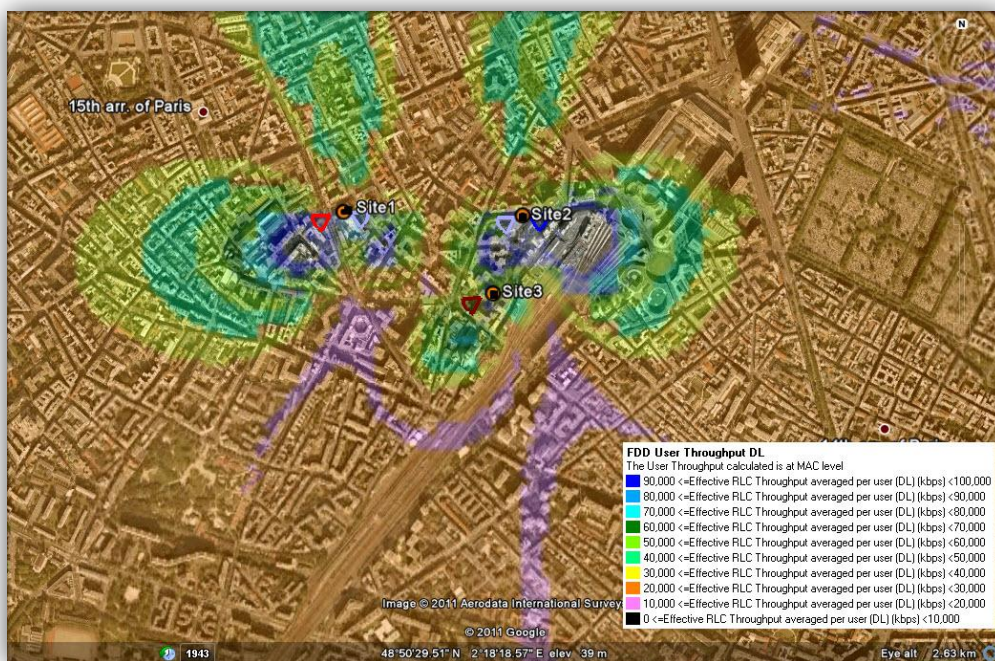


Figura 34 – Mapa de Cobertura de *Throughput*.

O *Throughput* pode ser analisado na Figura 34 representando a taxa de transferência efectiva do sistema, sendo que o débito esperado pode chegar aos 120 Mbps (valor máximo esperado actualmente para o equipamento ALU).

3.2.4 Medidas Colectadas – *Trial Paris*

Como boa prática implementada no mercado, deve-se efectuar um estudo antes de qualquer implementação física de um projecto de telecomunicações. Esse estudo terá que ser realizado através da obtenção de medidas rádio no local onde será implementado. Neste projecto, esse estudo não foi efectuado porque implementou-se apenas uma cobertura rádio com a tecnologia LTE. Assim sendo, apenas efectuámos as medidas com a ferramenta da Agilent de testes de modo a registar a informação sobre o nível de sinal presente. O cenário de teste incidiu sobre a realização de uma sessão de dados, onde foram registados os níveis de potência do sinal à medida que se deslocava a posição do móvel. A cada intervalo de distância percorrido, é registado um ponto, sendo o nível de sinal entre cada ponto obtido através de interpolação matemática, feita pela própria ferramenta *Agilent*. Na Figura 35 são apresentadas as medidas recolhidas no campo, a qual foi gerada com o suporte de ferramentas como o MapInfo, plataforma E6474A e o *Google Earth*.

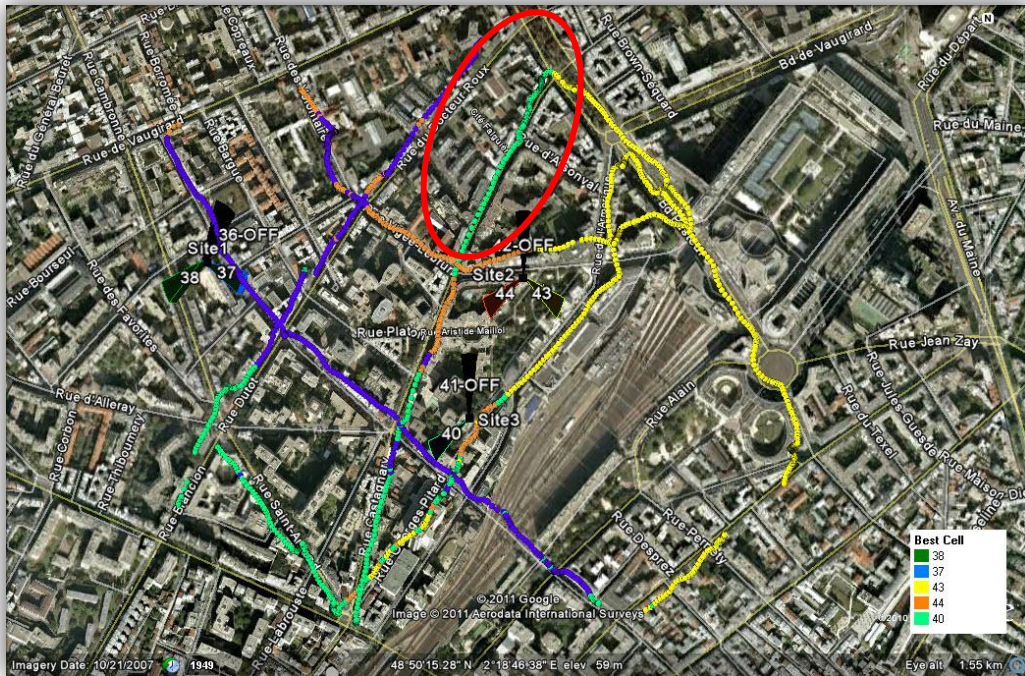


Figura 35 - Mapa de Cobertura de melhor célula.

A análise do *plot* acima mostra que não existe uma boa definição de *best server* no 1º sector (42) da estação base 2 devido ao facto do mesmo estar desligado no OMC, por problemas de equipamento (detectado pela alarmística).

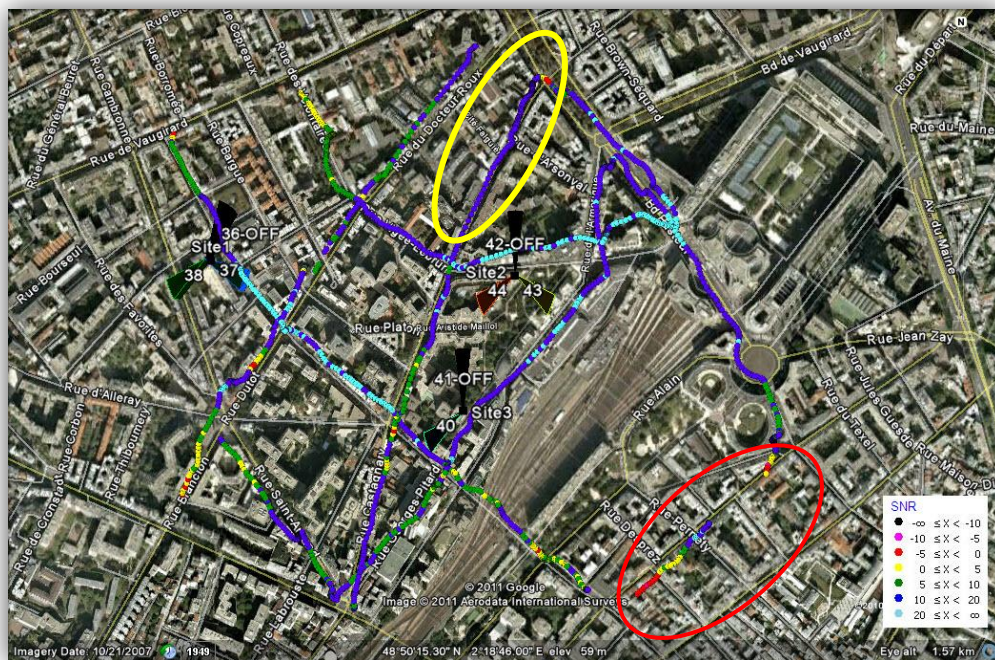


Figura 36 - Mapa de Cobertura SINR.

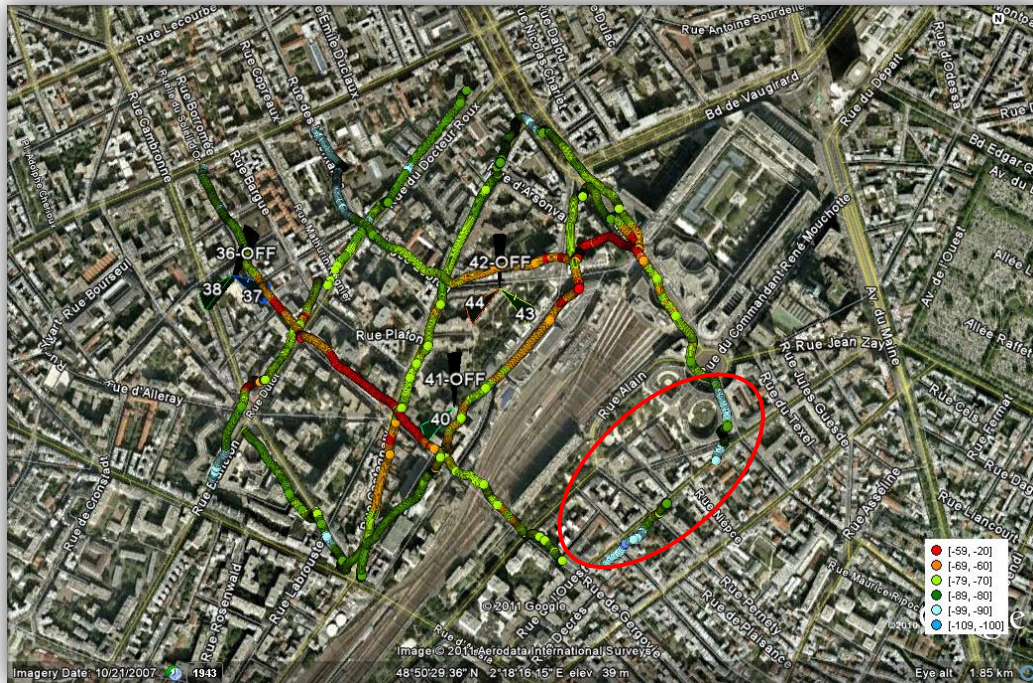


Figura 37 – Mapa de Cobertura RSSI.

Na Figura 36 e Figura 37 é importante destacar 2 pontos:

1. Embora não exista uma definição de *best server* na área assinalada a amarelo, esta não se reflecte nos níveis de SINR;
2. Os baixos valores registados nas zonas a vermelho, são devido a problemas de cobertura, pois as estações existentes não conseguem ter uma cobertura com bons níveis de qualidade, o que neste caso se traduz em valores de SINR baixos.

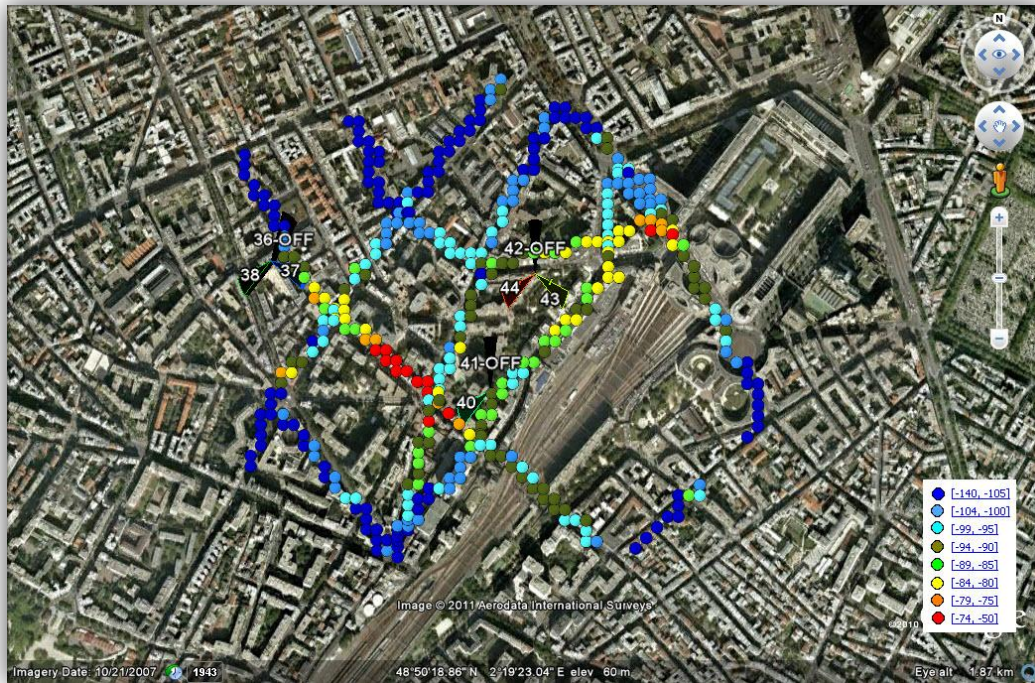


Figura 38 – Mapa de Cobertura RSRP.

Na Figura 38, é possível verificar que existem áreas que apresentam valores baixos de RSRP, os quais poderão originar problemas nos critérios de selecção e re-selecção para o qual este valor é considerado. Será necessário reforçar a cobertura para que este problema seja eliminado.

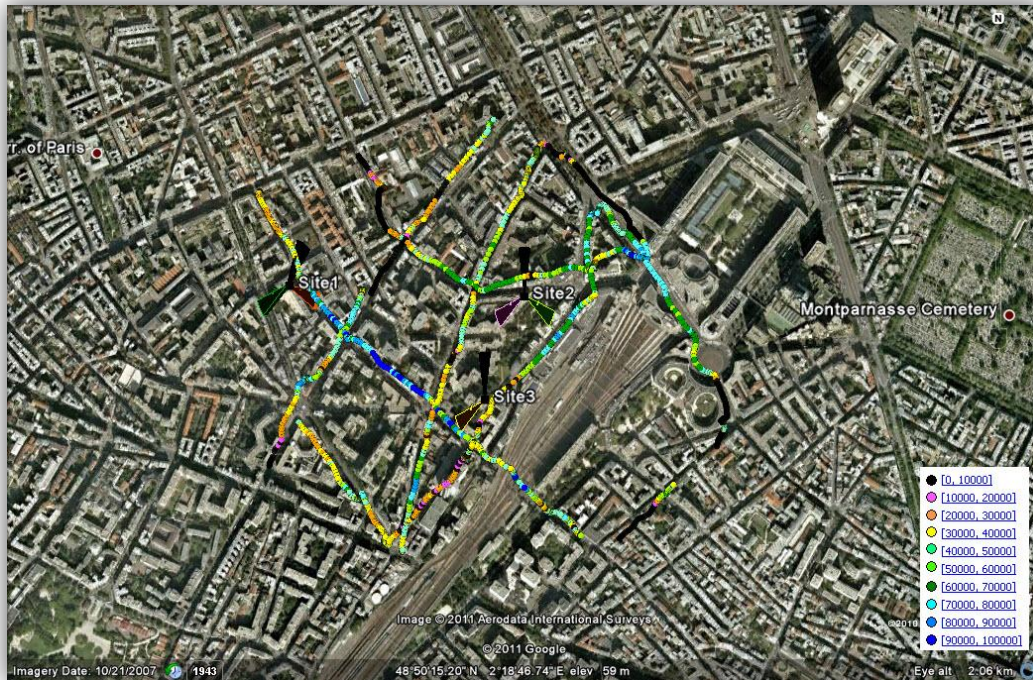


Figura 39 - Mapa de Cobertura de *Throughput*.

Na Figura 39, são apresentados os valores de débito (*throughput*) obtidos com o UE LG 7. Como esperado, são atingidos valores perto dos 100Mb/s. No entanto, estes valores elevados apenas são alcançados em áreas de cobertura muito boas e estando perto da estação, não existindo desta forma limitação de UL.

3.2.5 Requisitos Iniciais/ *Link Budget*/ RNP 9955 - Relação com a Rede Live

De modo a relacionar requisitos iniciais (teóricos), *link budget*, RNP 9955 e os dados recolhidos no campo, procedeu-se à construção de alguns *plots* com informação sobreposta, de forma a se poder analisar, e comparar os resultados obtidos.

Assim, comparamos os resultados obtidos na rede *trial* de Paris com os valores obtidos através da ferramenta RNP 9955. Para a obtenção de valores mais precisos teria sido necessário a utilização de base de dados com valores de resolução superiores (a base de dados utilizada foi de 20 metros de resolução), assim como, a utilização de base de dados de edifícios que permitiriam um cálculo de atenuação e propagação mais preciso.

Em paralelo, foi efectuada a comparação entre os dados teóricos de link budget e os obtidos através dos *drive-testes* da rede trial, assim como, os resultados da ferramenta RNP 9955.

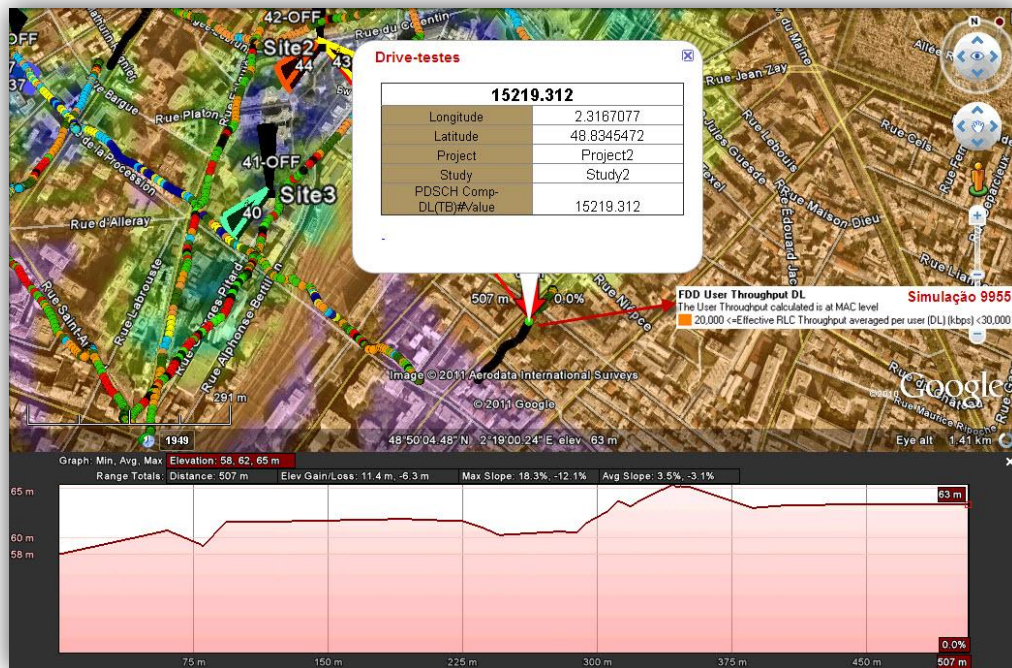


Figura 40 – Exemplo de *Throughput* a 500 metros da estação base

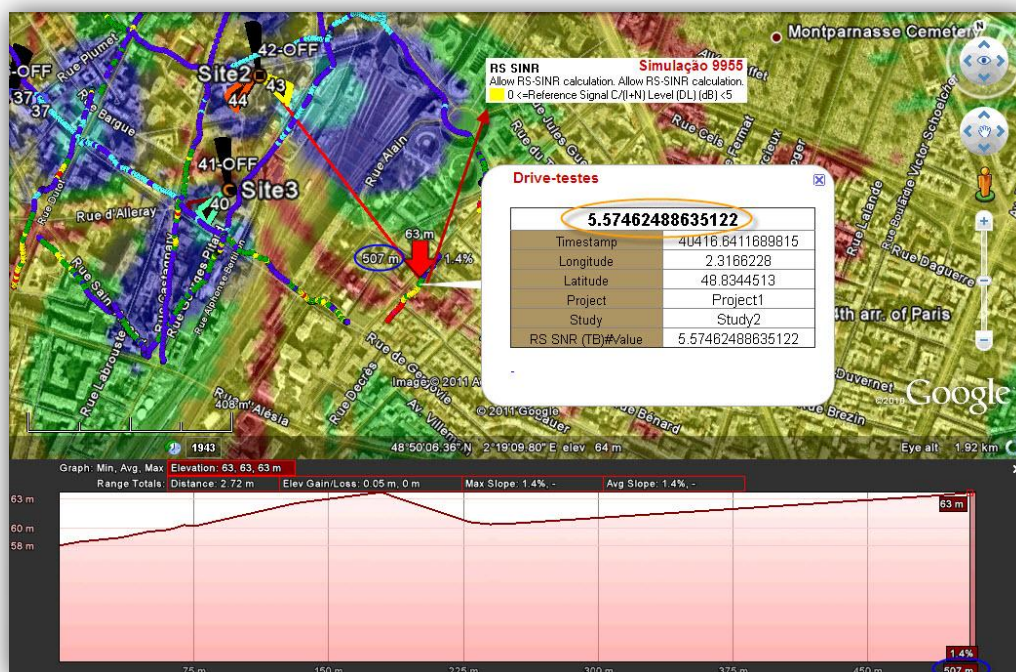


Figura 41 - Exemplo de SINR a 500 metros da estação base

Nas Figura 40 e Figura 41, encontram-se os valores de *throughput* e *SINR* para um ponto a 500 metros da estação base (limite da célula para os *drive-testes* efectuados). Estes valores foram comparados com os da Tabela 12, onde estão os valores de *throughput* e *SINR* calculados através do *link budget*. Assim, podemos resumir:

Cell Range		Throughput			SINR		
LB	RNP & DT	LB	RNP 9955	DT	LB	RNP 9955	DT
0,49 km	0,50 km	15429 Kbps	20000 <= Throughput(kbps) <30000	15219 Kbps	4,17 dB	0<= SNIR <5	5,57 dB

Tabela 15 – Exemplo comparativo para 500 metros

Da tabela acima, podemos concluir:

- Valores de *throughput* de *link budget* alinhados com os valores de *drive-testes*;
- Valores de *throughput* RNP 9955 dentro de um intervalo de valores acima dos valores obtidos no campo e pelo cálculo do *link budget*;
- Valores de *SINR* para os três cenários praticamente alinhados.

Questões a ter em consideração:

- Os valores mais optimistas de *throughput* obtidos para um cenário nos limites da célula, através da ferramenta RNP 9955, deverão ser revistos considerando valores de calibração mais exigentes, ajuste dos valores de *load* e potência, de forma a obter valores mais aproximados da realidade. Os valores de *SINR* estão praticamente alinhados, no entanto, devem ser monitorizados, após o reajuste ou ajuste do valor de *throughput* no simulador. Também temos de ter em atenção que estamos a considerar uma probabilidade de cobertura de 95% o que terá de ser considerado durante a avaliação de resultados.
- Atenção que, a não utilização de base de dados com melhor resolução, ou mesmo, base de dados de edificios leva muitas vezes a necessidade de reajuste destes valores.



Figura 42 - Exemplo de *Throughput* a 160 metros da estação base

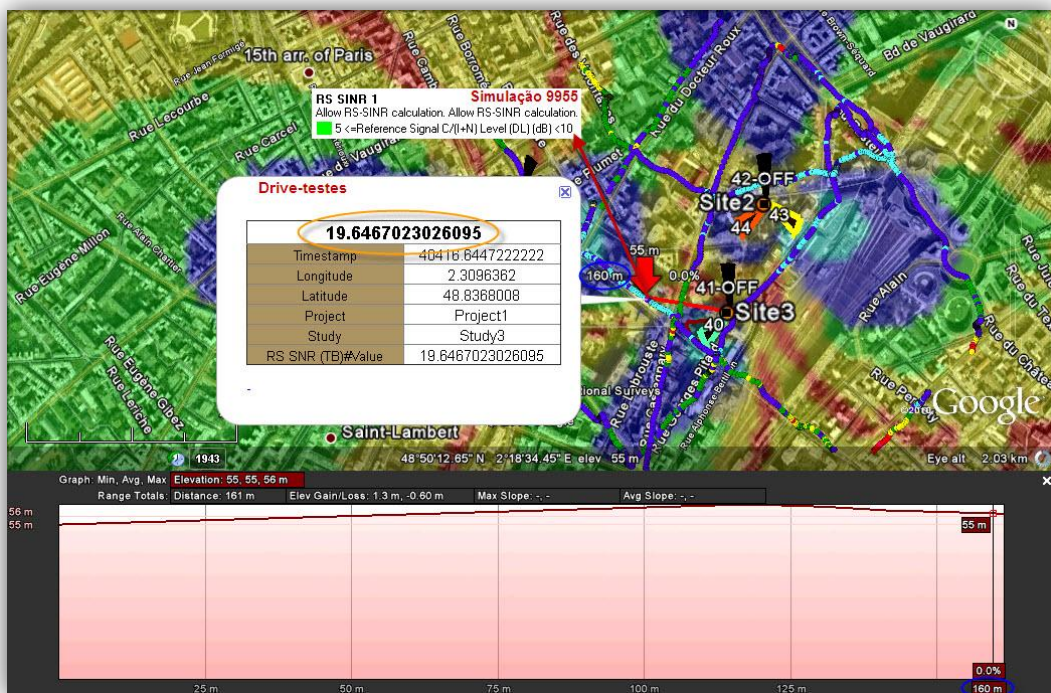


Figura 43 - Exemplo de SINR a 160 metros da estação base

Nas Figura 42 e Figura 43, encontram-se os valores de *throughput* e SINR para um ponto a 160 metros da estação base (perto da célula). Estes valores foram também comparados com os da Tabela 12, onde estão os valores de *throughput* e SINR calculados através do *link budget*. Assim, podemos resumir:

Cell Range		Throughput			SINR		
LB	RNP & DT	LB	RNP 9955	DT	LB	RNP 9955	DT
0,16 km	0,16 km	72530 Kbps	60000 <= Throughput(kbps) <70000	74786 Kbps	21,89 dB	5<= SINR <10	19,64 dB

Tabela 16 - Exemplo comparativo para 160 metros

Da tabela acima, podemos concluir:

- Valores de *throughput* de *link budget* alinhados com os valores de *drive-testes*;
- Valores de *throughput* do RNP 9955 dentro de um intervalo de valores um pouco abaixo dos obtidos no campo e pelo cálculo do *link budget*, no entanto, maioritariamente alinhados com o expectável para o *cell range* considerado;
- Valores de SINR de *link budget* alinhados com os valores de *drive-testes*;
- Valores de SINR do RNP 9955 dentro de um intervalo de valores um pouco abaixo dos obtidos no *link budget* e *drive-testes*.

Questões a ter em consideração:

- Os valores mais pessimistas de SINR obtidos, através da ferramenta RNP 9955, deverão ser revistos ajustando os valores de calibração utilizados, ajuste de valores de *load* ou de potência, de forma a obter valores mais aproximados da realidade. Também temos de ter em atenção que estamos a considerar uma probabilidade de cobertura de 95% o que terá de ser considerado durante a avaliação dos resultados.

- Atenção que, a não utilização de base de dados com melhor resolução, ou mesmo, base de dados de edificios leva muitas vezes a necessidade de reajuste destes valores.

Efectuada uma distribuição das amostras obtidas nos drive-testes para os indicadores como o *throughput*, *Pathloss*, *RSSI* e *SINR*, podemos retirar algumas ilações.

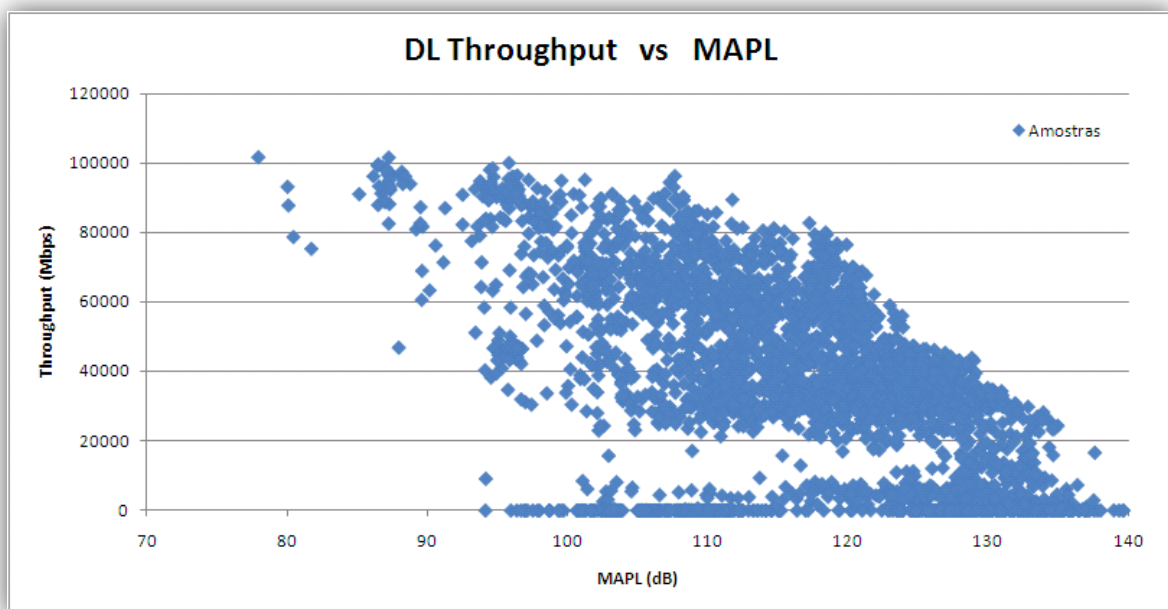


Figura 44 – Relação das amostras de throughput vs MAPL

Na Figura 44 – Relação das amostras de throughput vs MAPL, podemos ver a relação entre o throughput e *pathloss* através dos *drive-testes*. Efectuou-se um comparativo entre os valores obtidos no terreno e as considerações iniciais, podemos inferir:

- O maior volume de amostras fica compreendido entre os 20 Mbps e os 90 Mbps, em que os valores de MAPL variam entre 95 dB e os 135 dB, ficando assim alinhados entre os valores obtidos nos *drive-testes* e *link budget* (Tabela 12 – Valores de Link Budget de UL Cell Range, UL MAPL, DL Throughput e DL SINR.);
- Um comparativo de resultados entre os *drive-testes/ link budget* e a ferramenta RNP 9955 é apenas possível efectua-la entre 2 pontos distintos e não através de

uma distribuição matricial como na Figura 44 – Relação das amostras de throughput vs MAPL..

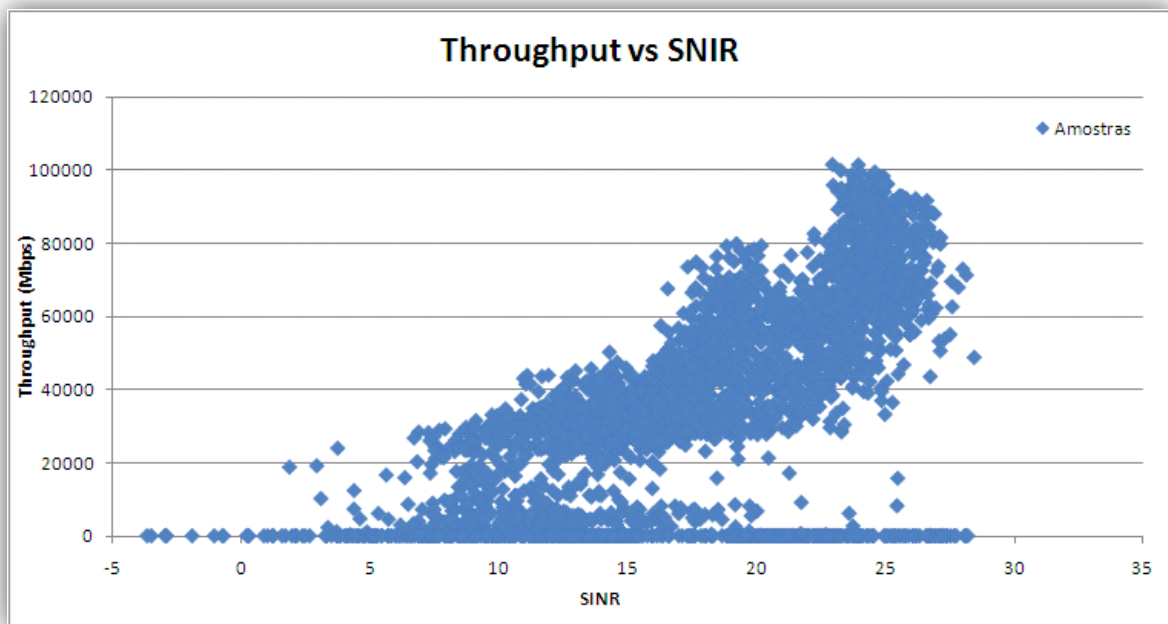


Figura 45 – Relação das amostras de throughput vs SINR

Os valores de SINR e *throughput* medidos durante os ensaios de campo também podem ser relacionados com os requisitos iniciais podendo ser deduzido:

- Para valores elevados de *throughput* obtidos no terreno, na ordem dos 90 Mbps, os valores de SINR variam entre os 24 dB e os 26 dB, alinhados assim com os valores calculados no *link budget* (Tabela 12), com valores na ordem dos 25 dB. Esta relação também é visível para valores de *throughput* mais baixos, entre os 20 Mbps e os 30 Mbps, em que o valor de SINR ronda os 10 dB e na respectiva tabela de *link budget* mostra valores que variam entre 7 dB e os 11 dB.
- Fazendo um histograma com a distribuição de SINR na ferramenta RNP 9955 verificamos que a 95 % das amostras variam entre os 5 dB e os 29 dB (Figura

46). Esta distribuição está em linha com os valores requisitados do *link budget* (Tabela 12) e com a distribuição de amostras da Figura 45.

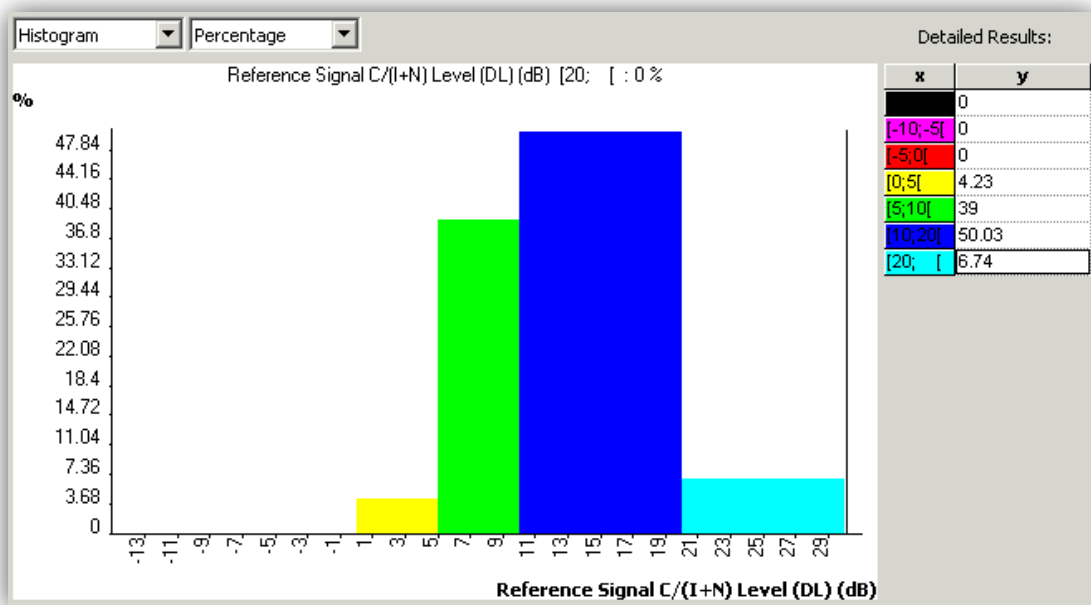


Figura 46 – Distribuição de amostras de SINR do simulador RNP 9955

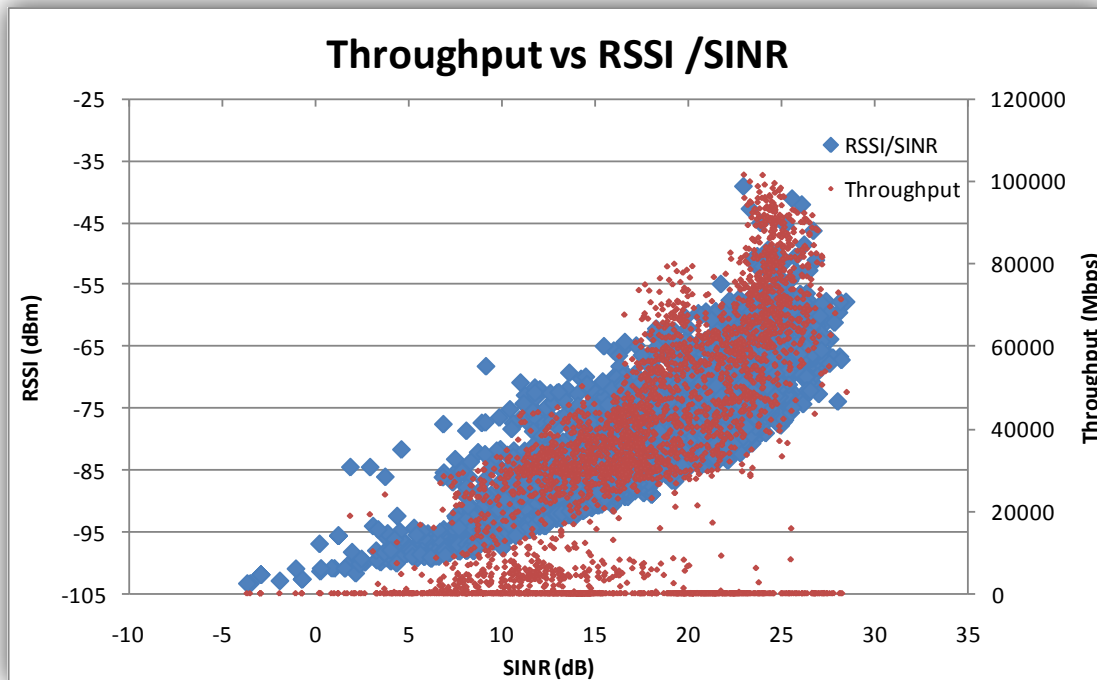


Figura 47 – Relação das amostras de Throughput vs RSSI/SINR

A Figura 47 mostra a relação entre o *throughput* e a variação da qualidade das condições rádio dos drive-testes através do SINR e RSSI. Um comparativo com a Tabela 12 para valores de *throughput* elevados (na ordem dos 90Mbps) mostra efectivamente na sua maioria valores de SINR acima dos 25dB. Se analisarmos a distribuição dos valores de RSSI dos *drive-testes* e dos calculados através da ferramenta RNP 9955, cerca de 96% das amostras de RSSI estão entre os -59dBm e os -99dBm, o que mais uma vez é coerente com a distribuição das amostras dos *drive-testes* (Figura 47).

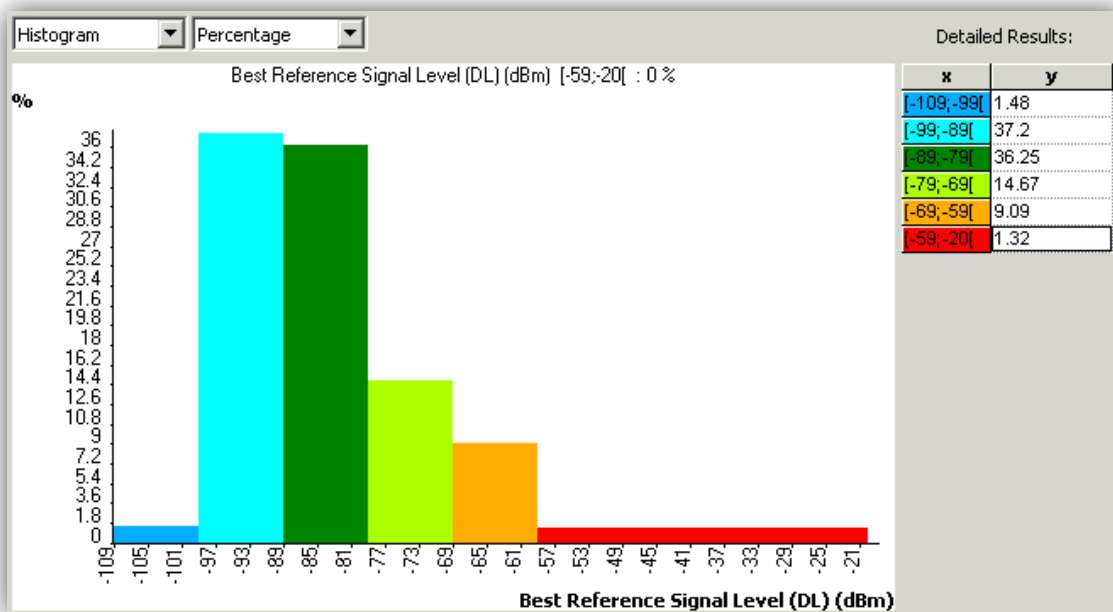


Figura 48 - Relação das amostras de Throughput vs RSSI/SINR

3.3 RNP *INDOOR* – SEDE ALU

3.3.1 Planeamento Indoor

O planeamento *indoor* que se pretende alcançar será a cobertura do piso 0 da empresa Alcatel-Lucent. Sendo uma área pública, onde é esperada a circulação de um grande número de pessoas, exige-se um nível de sinal de rádio (cobertura) mais elevado e uma atribuição de recursos que suportem a satisfação dos utilizadores (capacidade).

A abordagem ao planeamento será feita tendo em conta a planta interna do edifício e da dimensão do piso e da estrutura do edifício a qual pode ter um enorme impacto no planeamento da rede de rádio.

A superfície da empresa para este planeamento é constituída por 1 piso, com as seguintes características:

- Piso 0: área de escritório;
- Área coberta: 1200 m²;

Morfologia: Moderado denso (Espaço de escritórios, com 50%; de vidros duplos termicos, pladur, aberto, vidro, salas e auditórios acústicos. Na Figura 49 é possível visualizar a localização da estação base LTE (provisória), que está sediada em Cascais, mais especificamente na Estrada da Malveira da Serra, 920, Aldeia do Juzo, 2750-834 Cascais, Portugal, nas instalações da empresa Alcatel-Lucent.

Esta estação Base é constituída por uma célula *indoor* com duas antenas, tendo como objectivo de cobertura o piso 0.

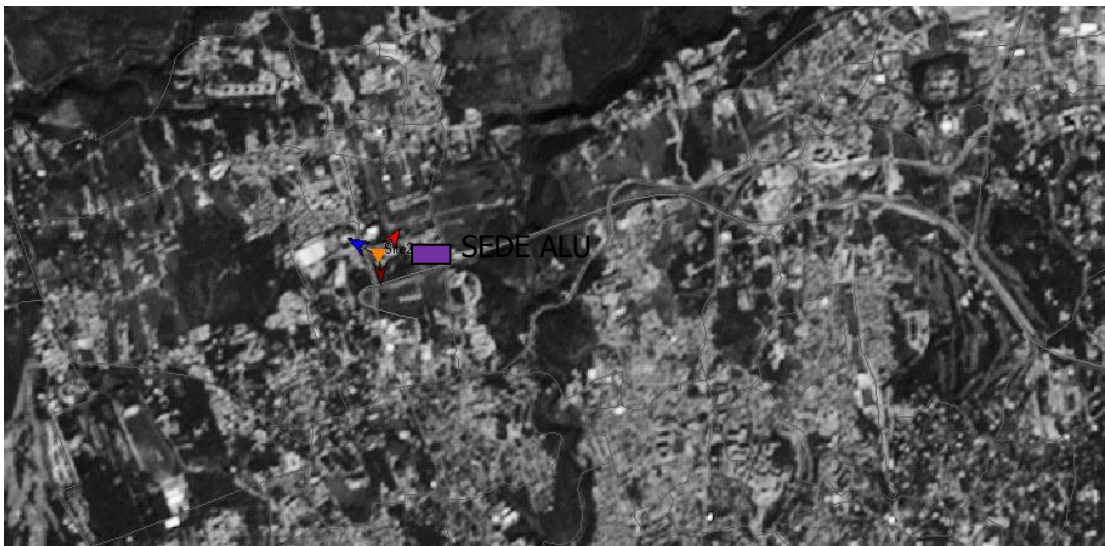


Figura 49 - Localização do Edifício Alcatel – Lucent.

3.3.1.1 Calibração do Modelo Propagação

A dificuldade de um planeamento *indoor* está na compreensão da influência dos obstáculos (paredes, vidros, portas, escritórios, tectos falsos) no ambiente de

propagação, de forma a verificar quais os obstáculos que contribuem para a diminuição do seu nível de sinal.

Para este estudo, não existe calibração do modelo de propagação, porque para o ambiente *indoor* é necessário ter uma ferramenta de planeamento específica devido ao facto que, a mesma vai ter em consideração a planta do edifício, os tipos de materiais e as suas perdas / atenuações associadas. A ferramenta ALU para esse efeito é designada por IBwave mas, não foi disponibilizada durante o desenvolvimento desta dissertação. Assim sendo, apenas se efectuou um *link budget* para um ambiente moderadamente denso com as características descritas acima (3.3.1). É de salientar que os factores de atenuação variam mediante os ambientes (escritório, hospital, centros de conferência, auditórios, centros comerciais) e respectivos valores de atenuação das paredes para estes ambientes. É de referir também que, as características dos respectivos ambientes, podem variar devido à morfologia e local. Os valores típicos de atenuação e propagação devem ser qualificados como uma aproximação razoável e utilizados quando não existem dados específicos do ambiente de propagação.

3.3.1.2 Link Budget Indoor

O *link budget* realizado para a cobertura *indoor* será em modo FDD, na banda de frequências dos 2600 MHz e com uma largura de banda de 20 MHz, e capacidade 100 RB. No planeamento *indoor* também é necessário termos em consideração o sistema de distribuição de antenas (DAS). Na Tabela 17 é apresentada a lista de equipamento e material a utilizar com os principais parâmetros.

Equipamento	Unidades	Referência	Quantidade		Ganhos/ Perdas
			Un	Total	
LTE NodeB	dBm	ALU	1	1	0
FO - Fibra Optica desde o eNodeB ao RRH	m		10	10	0
LTE RRH	dBm	ALU	1	1	46
DAS					
Cabo Coaxial desde o RRH ao S1 - Cabo de 1/2" Andrew Fire Retardant	m	LDF4RN-50A	30	30	-3.7881
Splitter S1 (1:2) - Splitter Kathrein fichas N-F de duas saídas	un	860 10017	1	1	-2.96
Cabo Coaxial desde o S1 às antenas - Cabo de 1/2" superflexível Andrew Fire Retardant	m	FSJ4RN-50B	2	4	-0.42112
LTE Antenas Indoor	dBi	800 10137	1	2	2
Conectores - Ficha Andrew para cabo 1/2" tipo DIN 7-16	un	F4PDMV2-C	3	3	-0.15
Conectores - Ficha Andrew para cabo 1/2" tipo N-Macho	un	L4PNM-RC	3	5	-0.15

Tabela 17 – Equipamento, materiais, ganhos e perdas.

Na Tabela 18, encontra-se um resumo dos parâmetros DAS.

Cable & Connector Losses	7,5 dB
Active/Hybrid Element Output Power	42 dBm

Tabela 18 – Resumo de Parâmetros DAS.

Na Tabela 19, é apresentada a informação de banda de frequências e parâmetros utilizados.

Frequency band (MHz)	FDD Band	TDD Band	UL Frequency	DL Frequency	FDD eNode-B Noise Figure	TDD eNode-B Noise Figure	UE Noise Figure	Propagation Model	Indoor Antenna Gain
2600 MHz	7	38	2535,0 MHz	2655,0 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	Modelo indoor - Calibrado	2,0 dBi

Tabela 19 – Banda de frequências e parâmetros.

Na Tabela 20, são apresentadas as características principais do LTE.

FDD Mode	1.4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15 MHz	20MHz
Slot duration	0.5 ms					
Sub-frame duration	1 ms (=2slots)					
Sub-carrier Spacing	15kHz (7.5kHz for MBMS)					
Sampling frequency	1.92 MHz	3.84 MHz	7.68 MHz	15.36 MHz	23.04 MHz	30.72 MHz
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048
Number of sub-carriers	72	180	300	600	900	1200
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100
OFDM symbols per slot	7 (short CP), 6 (long CP)					
CP length	4.96s x 6, 5.21s x 1 (Short) / 16.67s (Long)					

Tabela 20 - Características chave do LTE.

Na Tabela 21, pode ser encontrado o sumário do *link budget* para uma morfologia moderada densa.

UL Cell Edge Rate Target	PS 128
Cell Range for Rate Target	63 m
MAPL for Rate Target	116,0 dB
Number of Sites for Rate Target	1 Site/ 2 Sectores
DL Cell Edge Rate	4242 kbps
DL SINR	-3,7 dB

Tabela 21 - Sumário do *link budget*.

Na Tabela 22 são analisados os valores correspondentes a UL, cobertura da célula e MAPL, e no DL, o *throughput* e SINR.

	UL Cell Range	UL MAPL	DL Throughput	DL SINR
PUSCH (ACK)	63 m	122,75 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
PUCCH (ACK)	63 m	125,04 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
PUCCH (8 bit CQI)	63 m	122,18 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
Attach Procedure	63 m	120,66 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
VoIP AMR 12.2	42 m	108,91 dB	20970 Kbps	6,97 dB
VoIP AMR 12.2 (TTI)	63 m	120,21 dB	4185 Kbps	-4,05 dB
PS 15	63 m	122,25 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
PS 32	63 m	120,60 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
PS 64	63 m	118,20 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
PS 128	63 m	116,03 dB	4242 Kbps	-3,73 dB
PS 256	53 m	113,07 dB	12616 Kbps	2,43 dB
PS 384	49 m	111,56 dB	15722 Kbps	4,40 dB
PS 512	47 m	110,80 dB	17867 Kbps	5,38 dB
PS 768	44 m	109,55 dB	20996 Kbps	6,99 dB
PS 1000	42 m	108,54 dB	24896 Kbps	8,24 dB
PS 2000	37 m	106,19 dB	30047 Kbps	11,05 dB
PS 5700	28 m	101,30 dB	47218 Kbps	16,47 dB
PS 10000	24 m	98,28 dB	58439 Kbps	19,30 dB
PS 20000	18 m	92,83 dB	80708 Kbps	23,71 dB
PS 30000	14 m	88,88 dB	93786 Kbps	26,65 dB
PS 40000	12 m	85,79 dB	102049 Kbps	28,63 dB
PS 50000	10 m	82,44 dB	107678 Kbps	30,82 dB

Tabela 22 - Valores de UL Cell Range, UL MAPL, DL Throughput e DL SINR no *Indoor*.

Na Tabela 23 é apresentado um sumário com os parâmetros de UL e DL.

UL Parameter Summary

Multipath Channel Model	VehA 3km/h
UE Configuration	0 dBi - Omni
UL Interference Margin	4,0 dB
Indoor Antenna Height	5,0 m
UL Receive Diversity	1 RxDiv
Indoor Antenna Gain	2 dBi
Shadowing Standard Deviation	7,5 dB
Cell Area Coverage Probability	99%
Shadowing Margin	13,2 dB
Handoff Gain	0,0 dB
Macro Diversity Combining Gain	2,0 dB
UE Antenna Gain	0 dBi
Extra UL Losses	0,0 dB

DL Parameter Summary

RF Module	RRH 2x40
DL eNode-B Tx Power / Path	40,0 W
RS EPRE	15,2 dBm
Power Backoff	0,0 dB
DL eNode-B Tx Power / Path (after backoff)	40,0 W
RS EPRE (after backoff)	15,2 dBm
# DL Transmit Paths	2 paths
DL Adjacent Cell RB Loading	50%
Extra DL Losses	0,0 dB

Tabela 23 – Sumário dos Parâmetros de DL e UL

3.3.2 Planeamento de Cobertura

A primeira etapa no planeamento de cobertura será a de decisão dos locais de colocação das antenas, tendo como base a planta do edifício e os pontos específicos que se pretendem cobrir. Na Figura 50 é apresentada a localização nominal proposta das antenas para alcançar o objectivo pretendido.



Figura 50 - Localização das antenas

A segunda etapa será a simulação da rede através de um simulador calibrado para o efeito com base nas localizações das antenas (este ponto não foi efectuado). O tipo de antena seleccionada também terá impacto na área de cobertura. As antenas para grandes áreas abertas devem ser omni-direccionais e apenas em áreas específicas se deve ter antenas de painel, dependendo da cobertura e requisitos. Neste caso optou-se por antenas omni-direccionais.

Para se definir a localização de antenas efectuou-se um estudo de cobertura com base num *transmitter*. Após a localização das antenas estarem definidas, a terceira etapa passa pela definição de todos os equipamentos e antenas. Esta etapa pode ser verificada em 3.4.1.2, onde se apresenta o cálculo das perdas e ganhos do sistema e a potência estimada de transmissão das antenas. As especificações técnicas destes equipamentos podem ser encontradas nos anexos no final deste documento.

Para se ter uma visão global da solução, efectuou-se um diagrama da solução técnica e um diagrama de blocos que podem ser vistos na Figura 51 e Figura 52, respectivamente.

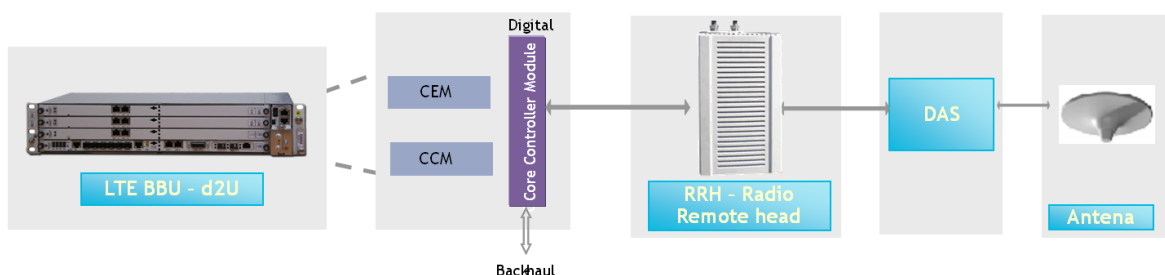
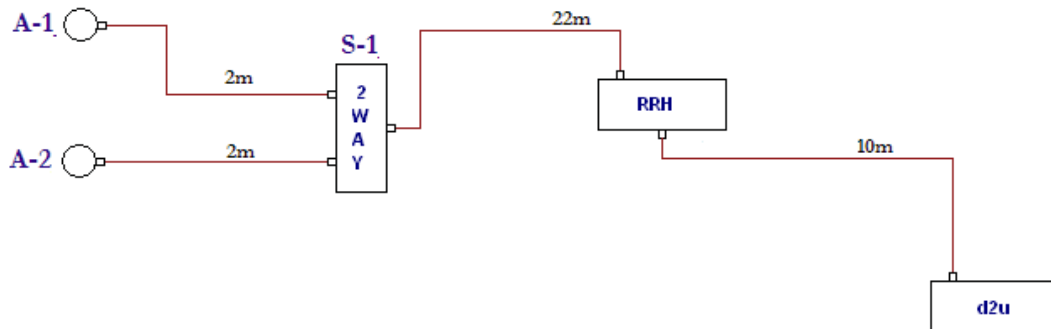


Figura 51 - Solução Técnica



Piso 0

Figura 52 – Diagrama de Blocos

3.3.3 Medidas Colectadas

Para efectuar os ensaios e de forma a constatar a necessidade de efectuar alterações ao planeamento inicial, foi utilizado um móvel na frequência de 2600MHz e duas antenas emissoras omnidireccional.



Figura 53 – Mapa de Cobertura RSSI.

Na Figura 53, é possível verificar que existe uma zona de níveis mais baixos, sendo estes valores devidos à existência de uma sala de reuniões fechada que cria esta diminuição de cobertura. No entanto, e visto tratar-se de um ambiente *indoor* controlado, não existe a necessidade de aumentar o reforço de cobertura inicialmente previsto.



Figura 54 – Mapa de Cobertura SINR.

No seguimento da análise da Figura 53 e da Figura 54 é possível concluir que apesar de existirem algumas amostras com níveis mais baixos, não existem grandes alterações ao nível do SINR.

Os ensaios efectuados pelo móvel mostram que os níveis de sinal estão maioritariamente acima de -70 dBm e os níveis de qualidade acima de 25 dB. Sendo assim, não se prevê a necessidade de adição ou remoção de equipamentos/materiais.

4 CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

Com a realização desta dissertação, pretendeu-se demonstrar as mais-valias de uma rede com a tecnologia LTE em ambiente *indoor* e *outdoor*. A intenção deste projecto foi, através da análise e do estudo teórico de cobertura e simulação computadorizada, validar as medidas capturadas e por sua vez processadas, após leitura real no campo.

Relativamente à análise das medidas rádio da cobertura *outdoor* no trial efectuado em Paris, concluiu-se que, em relação ao nível de sinal recebido e qualidade, este de uma forma geral cumpre os requisitos teóricos relativos ao *throughput*, SINR, RSSI e MAPL. Para comprovar o acima exposto efectuou-se uma análise em vários *spots*, alterando a distância, e verificou-se que o débito e qualidade, estão de acordo com o planeado, excepto em alguns casos onde existem desvios se comparamos os dados recolhidos através de *drive-testes* e *link budget* com os dados do simulador RNP 9955. Estes desvios são explicados pela necessidade de se re-efectuar uma nova calibração do simulador com os dados recolhidos no campo ou ajustar alguns parâmetros como os de *load* e potência, não esquecendo que apenas estamos a considerar uma probabilidade de cobertura de 95%. O valor médio de débito atingido no limite da célula foi de 15 Mbps cumprindo a qualidade de experiência para o utilizador, e o pico de débito máximo atingido foi de 101 Mbps num raio de cerca de 100 metros da estação base. Estes resultados estão dentro do esperado para a tecnologia LTE.

Em relação aos resultados obtidos por medidas de campo à cobertura de rádio *indoor* no edifício na sede da ALU, concluiu-se que, em relação ao nível de sinal recebido e qualidade, existem valores aceitáveis de sinal nos corredores, junto as janelas, na zona de café, excepto na zona de salas que possuem vidros duplos e protecção acústica onde efectivamente o sinal se deteriora. Numa análise global, o sinal de potência varia entre os -50 e -70 dBm e o de qualidade entre os 15 e 25 dB. Estes resultados estão dentro de um intervalo que permite uma boa qualidade de cobertura. Mais uma vez não existe um chamado valor referência mínimo óptimo de nível e qualidade de serviço. Este valor deve

ser considerado mediante estratégia de desenho e parametrização da rede, caso a caso, e devido à necessidade de ajuste dos níveis de transição indoor <->outdoor.

Os resultados acima só foram possíveis obter devido a a parceria com a empresa Alcatel-Lucent que disponibilizou o respectivo equipamento de teste. Desta lista, fazem parte os equipamentos de medida, as ferramentas de planeamento desenvolvidas para a nova tecnologia LTE e a própria infra-estrutura da rede de rádio. Este apoio foi importante de forma a poder-se efectuar todo um conjunto de actividades relacionadas com o planeamento teórico, cálculo do *link budget* para ambos os ambientes *indoor* e *outdoor*, e por fim poder recolher as respectivas medidas no terreno. Desta forma, foi possível ter uma visão completa de um processo de planeamento de um sistema rádio em ambos os tipos de ambiente.

Com esta validação consegue-se antever a sensibilidade dos desvios entre o planeamento e o que efectivamente obtemos no terreno, o que por sua vez se traduz na análise da qualidade de experiência que o utilizador usufrui até aos limites da célula. A mais-valia será o ganho de experiência e assertividade na análise de parâmetros de uma rede LTE, de forma a poder-se identificar de uma forma rápida e precisa as medidas a adoptar para a optimização da rede.

4.2 PRÓXIMOS PASSOS

Como próximos passos deve-se estudar a integração do sistema de cobertura móvel *outdoor* com o conceito de cobertura contínua. O conceito de cobertura contínua é o de criar uma cobertura global sem se ter perda de qualidade de serviço na passagem de um ambiente *outdoor* para *indoor* ou vice-versa e durante as suas transições dentro dos próprios ambientes. Com a evolução tecnológica, a integração da cobertura de um ambiente *indoor* com o ambiente *outdoor* vai ser cada vez mais importante, sendo prova disso, o número de células que não pára de aumentar e a necessidade de acesso a qualquer hora e em qualquer lugar. Este será o grande desafio que os operadores móveis vão enfrentar num futuro próximo, pois vão ter de se auto definir como um fornecedor de serviços de alta qualidade que lhes permita atingir os seus objectivos com uma elevada relação entre custo e benefício, de forma a aproveitar a infra-estrutura existente e de resolver a interligação entre ambientes *indoor's* e *outdoor's* sem se perder a qualidade de serviço exigida.

A forma de se poder dar uma resposta capaz a este desafio complexo é olhar para a cobertura móvel numa perspectiva de soluções globais, desde a arquitectura e desenho de rede até a implementação das mesmas. Para além disso, deve-se ter em consideração a descomplexidade da arquitectura LTE, a interoperabilidade com 2G e 3G, as técnicas MIMO e *beam forming*, o planeamento E2E e as redes IP e respectivas aplicações, em que por último é sempre preciso ter atenção à introdução de *small cells*. As *small cells* podem ser *picocells* ou *femtocells* que utilizam espectro de rádio licenciado, com raio de cobertura pequeno e uma oferta de alta capacidade, servindo apenas um número menor de utilizadores do que as típicas macro-células. Estas células são usadas normalmente para proporcionar um aumento de capacidade de uma cobertura *indoor* ou *outdoor*, em complemento a uma cobertura de uma macro-célula que estará numa camada acima à das *small cells* e *metro cells* (*femto* em ambiente *outdoor*, *Light Radio*).

BIBLIOGRAFIA

- [1] 3GPP TR 25.913 'Feasibility Study of Evolved UTRA and UTRAN'
- [2] Dahlman, Parkvall, Skold and Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, Academic Press, Oxford, UK, 2007
- [3] 3GPP TS 25.104 'Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD)
- [4] 3GPP TS 25.105 'Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD)
- [5] 3GPP home page: <http://www.3gpp.org/Highlights/LTE/LTE.htm> > Novembro de 2010
Global mobile Suppliers Association GSA's homepage <http://www.gsacom.com/>
- [6] ALU - LTE Dimensioning Guidelines - Outdoor Link Budget - FDD - Ed2.8
- [7] 3GPP, "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)," 3rd Generation Partnership Project, TR 25.913, - <http://www.3gpp.org/>
- [8] Circular/wrap-around self organizing map networks: an empirical study in clustering and classification - <http://www.jstor.org/pss/254112> > Dezembro de 2010
- [9] E. Soljanin, "Hybrid ARQ in Wireless Networks," 2003. - <http://ect.bell-labs.com/who/emina//talks/ppmcs1.pdf> > Dezembro de 2010
- [10] 3GPP, "TSG-SA Codec Working Group: Mandatory speech codec; AMR speech codec; Interface to lu and Uu" 3rd generation Partnership Project, Tech. rep. TS 26.102, 1999, - <http://www.3gpp.org/> > Dezembro de 2010
- [11] 3GPP, "Systems Architecture Evolution (SAE): Report on technical options and conclusions", 3rd Generation Partnership Project TR 22.882 - <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23882.htm> > Janeiro de 2010
- [12] Ove Edfors et al, "An Introduction to orthogonal frequency-division multiplexing", Lulea University of Technology - <http://www.sm.luth.se/csee/sp/research/report/esb96rc.pdf>
- [13] E. Dahlman et al, "The 3G Long-Term Evolution – Radio Interface Concepts and Performance Evaluation," IEEE

- [14] ALU - LTE Dimensioning Guidelines - Peak Throughputs - FDD - Ed1.1
- [15] ALU - LTE Dimensioning Guidelines - RNP - FDD - Ed2.2
- [16] ALU - LTE Dimensioning Guidelines - Air Interface Capacity - FDD - Ed1.1
- [17] ALU - LTE Dimensioning Guidelines - S1 and X2 - FDD_TDD - Ed1.1
- [18] ALU - LTE Dimensioning Guidelines - Traffic Aggregation Modeling - FDD_TDD - Ed1.1
- [19] ALU - LTE_Indoor_RF_design_guidelineInternal
- [20] LTE – The UMTS Long Term Evolution - From Theory to Practice, This edition first published 2009 © 2009 John Wiley & Sons Ltd.
- [21] SBG5677100211_LTE_Inbuilding_EN_StrawWhitePaper_HerveLeboime_Nov2010

ANEXOS

ANEXO 1

WinProp Propagation Engine



Coverage and capacity planning of wireless networks requires accurate predictions of the mobile radio channel with very short computation times for all types of cells in any kind of environment.

Accurate, fast, and efficient

The propagation model is one of the most important modules in a radio network planning tool. While for network optimization the computation time should be short, all physical phenomena should be considered to achieve a high accuracy. WinProp's DPM (Dominant Path Model) focuses on all relevant propagation effects and combines high accuracy with computation times in the range of empirical models. An auto-calibration with measurements allows a simple tuning of DPM's parameters.

Full range of cell types & air interfaces

To achieve the highest accuracy for macro, micro, and pico cells, WinProp considers simultaneously different types of databases (topography, clutter, vector buildings) - depending on their availability in rural, suburban, and urban environments as well as inside buildings. So all air interfaces (2G, 2.5G, 3G, HSPA, LTE, WIMAX), arbitrary antenna heights, all transmitter types, and all cells in the whole network can be planned with the WinProp propagation model.

Vector Building Data



Today, wireless networks must provide high data rates inside buildings. Therefore the actual buildings cannot be ignored in the predictions. The waveguiding in street canyons as well as the diffractions at roofs and wedges are dominating the wave propagation in urban scenarios. WinProp's DPM considers optionally the vector data of the buildings to include the most important propagation effects. This leads to a very high accuracy.

Trees and Vegetation

Trees and parks attenuate the propagation of electromagnetic waves. Vegetation areas are considered in the prediction and characterized by their heights and by a specific attenuation (dB/m).

Transition to large areas

Very large areas can be predicted in a hybrid mode. Around the transmitter with the DPM and far away with Atoll's standard propagation model. A weighted bilinear interpolation between the two models leads to a smooth transition.

Indoor Coverage

In-Building coverage is very important and WinProp offers two options for the indoor coverage: Either empirical indoor models without consideration of indoor walls or CNP (Combined Network Planning) including indoor walls.



Databases

The WinProp plug-in fully supports various data formats for topo, clutter and vector building data.

Plug-In for Forsk Atoll

www.awe-communications.com

WinProp Propagation Engine

Features:

Air Interfaces

2G, 2.5G, 3G, HSPA, LTE, WiMAX
GSM/GPRS/EDGE, UMTS/HSPA, LTE, CDMA 2000,
TD-SCDMA, WiMAX/BWA, Microwave Links
Frequency bands between 300 MHz and 30 GHz

Cell Types

Macro, Micro, Pico, Femto
Arbitrary transmitter heights

Input Data

Topographical (DTM) Databases
Pixel databases

Clutter (land usage) Databases
Pixel databases. Each class with
individual height, clearance,
and frequency dependent losses

Vegetation Databases

Pixel data (either extracted from clutter
or vector data) with individual heights

Building Databases

Either 3D vector building data
(cylinders with polygonal ground plane)
or pixel data extracted from DEM

Prediction Models

Empirical Models (Direct Ray)

COST 231 Walfisch-Ikegami

Deterministic Models (Vertical Plane)

Knife Edge Diffraction (at topography,
clutter heights and/or building data)

3D Deterministic Models

DPM (Dominant Path Model)
IRT (Intelligent Ray Tracing)

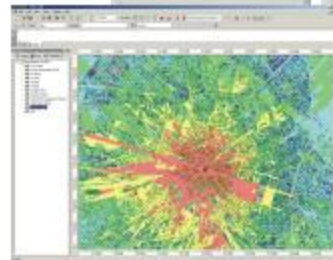
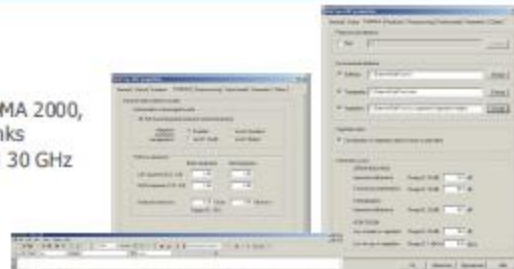
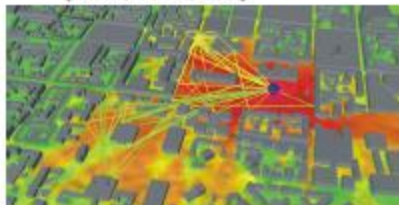
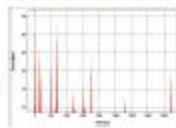
Outputs

Forsk Atoll Data Format

Path Loss Map

Further Output (visualized with separate GUI)

Delay Spread
Angular Spread
Propagation Paths
Channel Impulse Response
Angular Profile
(DoA for MS and BS)



Additional Tools

Auto-Calibration with measurements

Calibration of parameters of Dominant Path Model
Calibration of clutter classes

Platforms

Propagation Module as Plug-In (DLL)
for Forsk Atoll™ and Alcatel-Lucent 9155™

Plug-In for Forsk Atoll

AWE Communications GmbH
Phone: +49 70 31 71 49 7 -0

Otto-Lilienthal-Str 36
Fax: +49 70 31 71 49 7-12

71034 Boeblingen Germany
mail@awe-communications.com

ANEXO 2



Agilent W1314A Multi-band Wireless Measurement Receiver Data Sheet



Fastest multi-technology receiver worldwide

- Perform simultaneous multi-technology measurements during a single drive-test or indoor survey.
- Supports LTE, UMTS, GSM, cdma2000, 1xEVDO, iDEN, Mobile WiMAX™, CW and Spectrum Analysis.
- All measurement collection and analysis performed within the receiver hardware minimizing laptop processing requirements.

Rugged and reliable

- Designed to last for years of daily drive testing.
- Solid, RF shielded housing.
- Integrated 12 channel GPS or 50 channel high-sensitivity GPS with a USB 2.0 High-Speed USB hub, reducing the need for additional hardware cabling.

Expandable

- Add up to four handsets with USB charging, without impacting specified receiver measurement performance.
- Improve measurement performance, add new technologies as they become available by automatic software upgrades for extended product life.

Small form factor

- Low weight and power consumption.
- Drive-test or indoor use.



Overview

The W1314A RF receiver is an integral part of the Agilent drive-test system. With easy configuration and robust connections, you can get quick and accurate measurements from the receiver when it is combined with the Agilent E6474A Wireless Network Optimization Platform.

Easy connections and configuration mean that you can analyze and optimize your networks no matter where they are, or on what technology they are based. With the right receiver or receivers you get fast high-quality measurements.



Combined with the built-in GPS and USB hub you have the ideal tool for drive-testing your network, both outdoors and indoors. The W1314A measurement receiver delivers unparalleled multi-technology measurement capabilities for wireless network optimization and troubleshooting.

The following technologies are covered across the range of W1314A receivers: LTE, UMTS, GSM, CDMA2000, 1xEVDO, iDEN, Mobile WiMAX, Generic CW/Spectrum Analyzer.

The RF front-end of the W1314A measurement receiver uses discrete pre-selectors to insure the greatest possible accuracy of measurement results. Models have been created to meet the coverage needs of each market.

The W1314A measurement receiver family covers a comprehensive range of RF bands.

	2-Band	4-Band	8-Band
RF Bands ^a	1 Uplink and 1 Downlink or 2 Downlinks	2 Uplinks and 2 Downlinks or 1 Uplink and 3 Downlinks or 4 Downlinks	8 Various
Technology Support	All Technologies	All Technologies	All Technologies
GPS Support	12 Channel 50 Channel (optional)	12 Channel 50 Channel (optional)	50 Channel

^a Depending on the RF Band (center frequency and band width) multiple pre-selectors may be required to provide complete band coverage.

Receiver Power Distribution Module (Option 050)

The Power Distribution Module (PDM) provides power from the vehicle's battery to a single or multiple receivers.

Specifications

- Supports up to four W1314A multi-band receivers
- Fused outputs (user replaceable, one for each receiver)
- Reverse power protected
- Input voltage range - 12 to 18 VDC
- Under voltage detection threshold - 12.0 Volts
- Maximum current output - 4 amps/receiver (16 Amps total)
- Maximum current draw - 17 Amps
- Ignition sense line support

Enhanced High-Sensitivity GPS (Option 060)

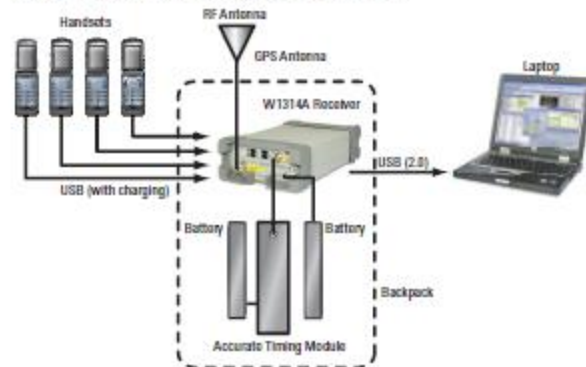
The high-sensitivity GPS provides improved reported position information even in the most challenging environments from dense urban canyons to tunnels and underground locations. This option improves the quality of the reported measurement data and reduces instances of gaps in your reported position.

This option is standard with the 8 band receivers and can be ordered with the 2 and 4 band receivers.

Indoor Solution (Option 070)

The indoor option provides an accurate timing module and power supplies that integrates with the W1314A receiver to ensure you maintain measurement synchronization throughout the whole indoor test.

Using the Agilent E6474A Wireless Network Optimization Application you can quickly load floor-plans and, with the synchronized receiver, you can easily collect and record a comprehensive range of measurements throughout a mix of indoor environments, for example malls, airports, train stations, convention centers, etc.



The indoor hardware includes:

- A standard backpack
- Two batteries (one battery is fitted with a power booster module)
- One timing module (1PP2S output)
- Cables and connections

The timing module provides a 1PP2S signal for the receiver measurements.

Receiver Technology Two-band Receivers

The following table lists the technologies that are covered using two-band receivers.

To use the table select the receiver option that best fits your testing needs. Technologies listed are provided for reference. The receivers are able to make any technology measurements in any of their supported frequency bands provided you have the appropriate technology measurement license.

For example, if your daily needs are to test both GSM and UMTS networks, and you have both 850 and 1900 bands, then receiver option 113 would be the best receiver for your needs.

Technologies supported on two-band receivers.

W1314A Option	Band 1	Band 2
103	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL) ^a	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)
113	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)
123	GSM 450 (UL/DL) LTE 450 (DL) UMTS 450 (UL/DL) cdma2000/EVDO 450 (UL/DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)
153	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
203	UMTS 2100 (UL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
233	LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
313	iDEN 800 (DL)	iDEN 900 (DL)
603	Mobile WMAX 2.5 GHz	LTE 2600 (DL)
623	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)	Mobile WMAX 2.3 GHz
703	LTE 700 (DL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)

a. Refer to "UMTS Frequency Band Reference Table" on page 13 for details of UMTS band numbering.

Frequency ranges supported by two-band receivers.

The following table lists the frequency ranges supported across each of the two-band receivers.

W1314A Option	Band 1 (MHz)	Band 2 (MHz)
103	921-962	1800-1885
113	864-899	1925-1995
123	450-496	921-962
153	1925-1995	2100-2180
203	1885-1990	2100-2180
233	864-899	2100-2180
313	827-875	921-962
603	2496-2595	2590-2690
623	2100-2180	2300-2400
703	698-806	864-899

**Receiver Technologies
Four-band Receivers**

The following table lists the technologies that can be tested using the four-band receivers listed. To use the table select the receiver option that best fits your testing needs. For example if your daily need is to test GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 networks then receiver then options 120 or option 200 would be the best receiver for your needs.

Technologies supported on four-band receivers.

W1314A Option	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
100	GSM 900 (UL) UMTS 900 (UL) ²	GSM 900(DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (UL) UMTS 1800 (UL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)
110	GSM 850 (UL) UMTS 850 (UL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 1900 (UL) LTE 850 (DL) UMTS 1900 (UL) cdma2000/EVDO 1900 (UL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (UL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)
120	GSM 450 (UL/DL) LTE 450 (DL) UMTS 450 (UL/DL) cdma2000/EVDO 450 (UL/DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL)
130	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)
140	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
150	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	UMTS 1700 (UL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
200	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)	UMTS 2100 (UL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
210	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)	TD-SCDMA	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
220	LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL)	TD-SCDMA ³	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
230	UMTS 850 (UL)	LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL)	UMTS 2100 (UL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
300	iDEN 800 (UL)	iDEN 800 (DL)	iDEN 900 (UL)	iDEN 900 (DL)
310	iDEN 800 (DL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	iDEN 900 (DL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)
410	JCDMA 800 (DL)	JCDMA 800 (DL - continued)	LTE 1700 (DL) UMTS 1700 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)
500	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL) UMTS 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL) UMTS 1800 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)	WLAN 2400-2500 (TDD)

W1314A Option	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
600	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)	LTE 2600 (DL) Mobile WMAX 2.5 GHz (TDD)	Mobile WMAX 2.5 GHz (continued)
700	LTE 700 (DL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) cdma2000/EVDO 850 (DL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (UL) cdma2000/EVDO 1900 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) cdma2000/EVDO 2100 (DL)

- a. Refer to "UMTS Frequency Band Reference Table" on page 13 for details of UMTS band numbering.
b. Hardware support for future technology expansion; support for these measurements have not yet been implemented.

Frequency ranges supported by four-band receivers.

The following table lists the frequency ranges supported across each of the four-band receivers.

W1314A Option	Band 1 (MHz)	Band 2 (MHz)	Band 3 (MHz)	Band 4 (MHz)
100	876-917	921-962	1705-1790	1800-1885
110	819-854	864-899	1845-1915	1925-1995
120	450-496	921-962	1800-1885	2100-2180
130	864-899	921-962	1800-1885	1925-1995
140	864-899	921-962	1800-1885	2100-2180
150	864-899	1705-1790	1925-1995	2100-2180
200	921-962	1800-1885	1895-1990	2100-2180
210	921-962	1800-1885	2005-2030	2100-2180
220	864-899	1925-1995	2005-2030	2100-2180
230	819-854	864-899	1895-1990	2100-2180
300	800-830	827-875	876-917	921-962
310	827-875	864-899	921-962	1925-1995
410	864-899	827-875	1800-1885	2100-2180
500	921-962	1800-1885	2100-2180	2400-2484
600	864-899	1925-1995	2590-2690	2496-2595
700	896-906	864-899	1925-1995	2100-2180

Receiver Technologies
Eight-band Receivers

The following table lists the technologies that can be tested using the eight-band receivers listed. To use the table select the receiver option that best fits your testing needs. For example if your daily needs are to test multiple Mobile WIMAX™ bands then select receiver option E01 to cover most Mobile WIMAX™ mobile system profiles.

Technologies supported on eight-band receivers.

W1314A Options	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 8
E01	Mobile WIMAX 2.3	Mobile WIMAX 2.5	Mobile WIMAX 2.5 LTE 2600 (DL)	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5
E02		iDEN 800 (DL)	GSM 850 (DL) UMTS 850 (DL) LTE 850 (DL) CDMA2000/ EVDO 850 (DL)	iDEN 900 (DL)	GSM 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) LTE 1900 (DL) CDMA2000/ EVDO 1900 (DL)	CDMA2000/ EVDO 2100 (DL) LTE 2100 (DL) (AWS Band) UMTS 2100 (DL)	Mobile WIMAX 2.5	Mobile WIMAX 2.5 LTE 2.6 (DL)
E03	GSM 850 (UL) UMTS 850 (UL) CDMA2000/ EVDO 850 (UL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) CDMA2000/ EVDO 850 (DL)	UMTS 1700 (UL) (AWS Band)	GSM 1900 (UL) UMTS 1900 (UL) CDMA2000/ EVDO 1900 (UL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) CDMA2000/ EVDO 1900 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) CDMA2000/ EVDO 2100 (DL) (AWS Band)	Mobile WIMAX 2.5	LTE 2600 (DL) Mobile WIMAX 2.5
E04	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL)	UMTS 2100 (DL) LTE 2100 (DL) CDMA2000/ EVDO 2100 (DL)	LTE 2600 (DL)	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5
E05	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) CDMA2000/ EVDO 850 (DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL)	GSM 1900 (DL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) CDMA2000/ EVDO 1900 (DL)	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5	Mobile WIMAX 3.5
E06	LTE 850 (DL) JCDMA 800 (DL)	JCDMA 800 (DL)	JCDMA 900 (DL) JUMTS 900(DL)	LTE 1700 (DL) UMTS 1700 (DL) CDMA2000/ EVDO 1700 (DL)	TD-SCDMA ^b	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) CDMA2000/ EVDO 2100 (DL)	Mobile WIMAX 2.5	LTE 2600 (DL) Mobile WIMAX 2.5
E07	GSM 850 (UL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (UL) CDMA2000/ EVDO 850 (UL)	GSM 850 (DL) UMTS 850 (DL) CDMA2000/ EVDO 850 (DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL)	GSM 1800 (UL) GSM 1800 (DL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL)	GSM 1900 (UL) UMTS 1900 (UL) CDMA2000/ EVDO 1900 (UL)	GSM 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) CDMA2000/ EVDO 1900 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) CDMA2000/ EVDO 2100 (DL)
E08	GSM 850 (UL) UMTS 850 (UL) CDMA2000/EVDO 850 (UL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) CDMA2000/EVDO 850 (DL)	GSM 900 (UL) LTE 900 (DL)	GSM 900 (DL) LTE 900 (DL)	GSM 1800 (UL)	GSM 1800 (DL) LTE 1800 (DL)	UMTS 2100 (UL) CDMA2000/EVDO 2100 (UL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) CDMA2000/EVDO 2100 (DL)
E09		LTE 700 (DL)	GSM 850 (UL) UMTS 850 (UL) CDMA2000/ EVDO 850 (UL)	GSM 850 (DL) LTE 850 (DL) UMTS 850 (DL) CDMA2000/ EVDO 850 (DL)	UMTS 1700 (UL) (AWS Band)	GSM 1900 (UL) LTE 1900 (DL) UMTS 1900 (UL) CDMA2000/ EVDO 1900 (UL)	GSM 1900 (DL) UMTS 1900 (DL) CDMA2000/ EVDO 1900 (DL)	LTE 2100 (DL) UMTS 2100 (DL) CDMA2000/ EVDO 2100 (DL) (AWS Band)

b. Futuro LTE measurement support planned.
c. Potential futuro TD-SCDMA measurement capability.

Frequency ranges supported by eight-band receivers.

The following table lists the frequency ranges supported across the eight-band receivers.

W1314A Options	Band 1 (MHz)	Band 2 (MHz)	Band 3 (MHz)	Band 4 (MHz)	Band 5 (MHz)	Band 6 (MHz)	Band 7 (MHz)	Band 8 (MHz)
E01	2300-2400	2496-2596	2590-2690	3300-3400	3400-3600	3500-3600	3600-3700	3700-3800
E02	X	827-875	864-899	921-962	1925-1995	2100-2180	2496-2596	2590-2690
E03	819-854	864-899	1705-1790	1845-1915	1925-1995	2100-2180	2496-2596	2590-2690
E04	921-962	1800-1885	2100-2180	2590-2690	3400-3600	3500-3600	3600-3700	3700-3800
E05	864-899	921-962	1800-1885	1925-1995	3400-3600	3500-3600	3600-3700	3700-3800
E06	824-875	864-899	900-960	1800-1885	2005-2030	2100-2180	2496-2596	2590-2690
E07	819-854	864-899	921-962	1705-1790	1800-1885	1895-1990	1925-1995	2100-2180
E08	819-854	864-899	876-917	921-962	1705-1790	1800-1885	1895-1990	2100-2180
E09	X	898-906	819-854	864-899	1705-1790	1845-1915	1925-1995	2100-2180

**Receiver Application
 Measurement Support**

The following table outlines the measurements supported by each receiver option.

WT314A Option	Spectrum Analyzer	CW/Channel Power Analyzer	GSM Broadcast Channel Analyzer	GSM Interference Analyzer	UMTS Scrambling Code Analyzer	cdma2000/EVDO Pilot Analyzer	cdma2000 CDP Analyzer	CDMA CDP Analyzer	IDEN Channel Analyzer	IDEN Interference Analyzer	WINMAX Channel Analyzer	LTE Channel Analyzer
100	X	X	X	X	X							X
103	X	X	X	X	X							X
110	X	X	X	X	X	X	X	X				X
113	X	X	X	X	X	X	X	X				X
120	X	X	X	X	X	X	X	X				X
123	X	X	X	X	X	X	X	X				X
130	X	X	X	X	X	X	X	X				X
140	X	X	X	X	X	X	X	X				X
150	X	X	X	X	X	X	X	X				X
153	X	X	X	X	X	X	X	X				X
200	X	X	X	X	X	X	X	X				X
203	X	X	X	X	X	X	X	X				X
210	X	X	X	X	X	X	X	X				X
220	X	X	X	X	X	X	X	X				X
230	X	X	X	X	X	X	X	X				X
233	X	X	X	X	X	X	X	X				X
300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
310	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
313	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
410	X	X	X	X	X	X	X	X				X
500	X	X	X	X	X	X	X	X				X
600	X	X	X	X	X	X	X				X	X
603	X	X									X	X
623	X	X			X	X	X				X	X
700												X
703												X
E01	X	X									X	X
E02	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
E03	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
E04	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
E05	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
E06	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
E07	X	X	X	X	X	X	X	X				X
E08	X	X	X	X	X	X	X	X				X
E09	X	X	X	X	X	X	X	X				X

General Receiver Specifications

The following table lists the specifications that are applicable to all receiver options.

Frequency	Frequency accuracy	±2 ppm
	Aging of TCXO	±1 ppm/year
	IF Bandwidth (nominal)	1.25MHz, 5MHz, 7MHz, 8.75MHz, 10MHz, 20MHz
Amplitude	Accuracy	±1.5 dB typical (0° to 55°C) ±1.0 typical (20° to 30°C)
	Noise figure	8.0 dB < 2.3 GHz typical 9.5 dB > 2.3 GHz typical
	Maximum safe input level	+10 dBm, 20V DC, characteristic
	1 dB compression point	-15 dBm, typical
	Adjacent channel rejection	55 dB nominal
	Internally generated spurious, input referred	-120 dBm
	Input/Output	RF input
Connectors	Computer	USB 2.0 High Speed (480 Mbps)
	GPS	SMA Female
	Power	9-34VDC, DC power jack 100 mils, positive center
	USB 4-port hub	USB 2.0 High Speed (480 Mbps)
Miscellaneous	Operating temperature range	0°C to 55°C
	Maximum relative humidity	80% for temperatures up to 31°C, decreasing linearly to 50% relative humidity at 40°C
	Storage temperature range	-40°C to +70°C
	Dimensions	6 in x 3 in x 9 in W15.24 cm x 7.62 cm x 22.90 cm
	Weight	5.2 lbs (2.4 kg)
	Power	9 to 34 VDC, 18W, nominal
	AC Power	100-240 Vrms AC, 50-60 Hz
	GPS	Integrated internal GPS
	Enhanced GPS (optional)	50 Channel type

**Generic Receiver Performance
 - CW and Spectrum Analyzer**

The characteristics outline the W1314A generic receiver measurements for CW and Spectrum Analyzer.

Examples:

CW (30 KHz RBW)	Number of measurements	Typical Duration
1 RF Carrier	500 channels/second	2 ms
Multiple RF Carriers	400 channels/second	2.5 ms

Channel Power (Width 30 KHz)	Number of measurements	Typical Duration
1 RF Carrier	300 channels/second	3.3 ms
Multiple RF Carriers	250 channels/second	4.0 ms

Note: There is no averaging used for these measurements.

Spectrum Analyzer (30 KHz RBW)	Updates / Second
Span (4 MHz, IFBW 5 MHz)	25
Span (10 MHz, IFBW 5 MHz)	14
Span (25 MHz, IFBW 5 MHz)	6
Span (50 MHz, IFBW 5 MHz)	3

Characteristic GSM and UMTS Performance

The characteristics outline the performance of the W1314A receiver for GSM and UMTS measurements.

UMTS	High Speed Carrier	High Sensitivity Mode	Duration
1 RF Carrier	26 measurements per carrier/sec	5 measurements per carrier/sec	1 sec
6 RF Carriers	1 measurement per carrier/sec	1 measurement per carrier/sec	1.2 sec
12 RF Carriers	1 measurement per carrier/sec	1 measurement per carrier/sec	2.5 sec

Dynamic range		
E _o /I _o (typ)	0 to -20.0 dB	0 to -26.0 dB

Note: Indicated UMTS performance is for 8 active Node Bs; speed is improved for fewer active nodes.

GSM	Capability	Typical Duration
Power Scan	1400 channels / sec (contiguous)	720 msec
BASIC Decode	Minimum 9, up to 46 channels / sec	

Typical GSM example measurements:

Multi-band measurement examples	Typical duration
One RF band with 200 channels, 15-20 BSIC decodes	260 msec
Two RF band each with 200 channels and 15-20 BSIC decodes	510 msec

Characteristic cdma2000 and 1xEVDO Performance

The characteristics outline the performance of the W1314A receiver for cdma2000 and 1xEVDO measurements.

High Speed Mode	cdma2000	1xEVDO
1 RF Carrier	21 measurements per carrier/sec	29 measurements per carrier/sec
8 RF Carriers	2 measurements per carrier/sec	2 measurements per carrier/sec
15 RF Carriers	1 measurement per carrier/sec	1 measurement per carrier/sec

Dynamic range	cdma2000	1xEVDO
E _c /N ₀ (typ)	0 to -25.5 dB	0 to -16.5

High Accuracy Mode	cdma2000	1xEVDO
1 RF Carrier	6 measurements per carrier/sec	2 measurements per carrier/sec
8 RF Carriers	2 measurements per carrier/sec	2 measurements per carrier/sec
15 RF Carriers	1 measurement per carrier/sec	1 measurement per carrier/sec

Dynamic range	cdma2000	1xEVDO
E _c /N ₀ (typ)	0 to -25.5 dB	0 to -18.5 d

cdma2000 CDP		
1 RF Carrier	10 measurements per carrier/sec	
8 RF Carriers	1 measurement per carrier/sec	
15 RF Carriers	1 measurement per carrier/2 sec	

Dynamic range	cdma2000
E _c /N ₀ (typ)	0 to -25.

Typical cdma2000/1xEVDO example measurements:

Multi-band measurement examples	Typical duration
One EVDO carrier	36 msec
One cdma2000 carrier	48 msec
Four cdma2000 carriers	210 msec
Two cdma2000 and two EVDO carriers	240 msec
Four cdma2000 CDP carriers	450 msec

Characteristic iDEN Performance

The characteristics outline the performance of the W1314A receiver for iDEN measurements.

iDEN	Capability
Power Scan	3000 channels / sec (contiguous)
DCC Decode	Minimum of 12 up to 70 channels / sec

Typical iDEN example measurements:

Multi-band measurement examples	Typical duration
One RF band with 180 channels, 15-20 DCC decodes	170 msec
Two RF band each with 180 channels and 15-20 DCC decodes	360 msec

Characteristic Mobile WiMAX™ Performance

The characteristics outline the performance of the W1314A receiver for Mobile WiMAX™ measurements.

Mobile WiMAX	Capability
Power Scan (preamble-RSSI)	7 channels / sec (10 MHz BW)
Power Scan (preamble-RSSI)	15 channels / sec (5 MHz BW)
Preamble decode	Minimum 7 up to 15 decodes / sec ^d
Preamble decode sensitivity	-95 dBm

d. Can be multiple preamble decodes for each RF carrier.

Characteristic LTE Performance

The characteristics outline the performance of the W1314A receiver for LTE measurements.

Power Scan	Update Rate (updates/sec)	Channels
5 MHz	43	15
10 MHz	36	8

LTE Measurements (1 channel/3 cell IDs)		Updates per full update	Total Update Rate (Updates/sec)
5 MHz	Sync Frame = Yes	1	4
		10	16
	Sync Frame = No	1	2
		10	12
10 MHz	Sync Frame = Yes	1	2
		10	12
	Sync Frame = No	1	1
		10	7

Note: Sync Frame = "Yes", assumes that LTE signals are close to the frame boundaries established by a GPS 1 PPS.

Multiple Technology Performance

The following are typical examples of measurements and configuration used by operators.

UMTS Multi-RAT

Example Configuration

UMTS	GSM 900	GSM 1800
UMTS 2100	125 Channels	384 Channels
Single RF Carrier	Top N = 10	Top N = 10
High Dynamic Range	BSIC detection ON	BSIC detection ON
15 Timeslots	Speed Mode = 10	Speed Mode = 10
Speed Mode = 4		

Typical Duration
750 msec

UMTS & cdma2000

Example Configuration

UMTS	cdma2000
UMTS 1900	cdma2000 1900
Single RF Carrier	Single RF Carrier
High Dynamic Range	High Dynamic Range
Carrier tracking = OFF	Carrier tracking = OFF

Typical Duration
200 msec

cdma2000, 1xEVDO & iDEN

Example Configuration

cdma2000	1xEVDO	iDEN 800/900
Four RF Carriers	Single RF Carrier	350 Channels Each Band
High Dynamic Range	High Dynamic Range	Two RF Band
Carrier tracking = OFF	Carrier tracking = OFF	Top N = 20
		Speed Mode = 10
		DCC detection = ON

Typical Duration
510 msec

UMTS Frequency Band Reference Table

The following table provides a cross-reference between frequency bands and UMTS bands (3GPP Specifications - TS 25.101/102/104/105).

Operating Band	Frequency Band	UL Frequencies UE transmit (MHz)	DL Frequencies UE receive (MHz)	Channel Number (UARFCN) UL	Channel Number (UARFCN) DL
I	2100	1920 - 1980	2110 - 2170	9612 - 9888	10562 - 10838
II	1900	1850 - 1910	1930 - 1990	9262 - 9538	9662 - 9938
III	1800	1710 - 1785	1805 - 1880	937 - 1288	1162 - 1513
IV	1700	1710 - 1755	2110 - 2155	1312 - 1513	1537 - 1738
V	850	824 - 849	869 - 894	4132 - 4233	4357 - 4458
VI	800	830 - 840	875 - 885	4162 - 4188	4387 - 4413
VII	2600	2500 - 2570	2620 - 2690	2012 - 2338	2237 - 2563
VIII	900	880 - 915	925 - 960	2712 - 2863	2937 - 3088
X	1800	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	8762 - 8912	9237 - 9387
X	1700	1710 - 1770	2110 - 2170	2887 - 3163	3112 - 3388
XI	1500	1427.9 - 1462.9	1475.9 - 1500.9	3487 - 3687	3712 - 3812

Additional Agilent Literature

Product Overviews

Agilent E647 4A Wireless Network Optimization Platform Product Overview	5988-3558EN
Deploy next generation wireless networks Agilent E647 4A Wireless Network Optimization Platform	5989-4782EN

Data Sheets

Agilent E647 4A Technology Overview GSM, GPRS, EDGE	5989-5722EN
Agilent E647 4A Technology Overview UMTS, HSDPA	5989-5735EN
Agilent E647 4A Technology Overview LTE	5990-3449EN
Agilent E647 4A Technology Overview cdma2000, 1xEVDO	5989-5904EN
Agilent E647 4A Wireless Data Measurement	5988-1507EN
Agilent E647 4A Mobile WiMAX Technology Overview	5989-6923EN
Agilent E647 4A iDEN Technology Overview	5989-6728EN

www.agilent.com/find/contactus

"Mobile WiMAX" is a trademark of the WiMAX Forum. "WiMAX Forum" is a registered trademark of the WiMAX Forum.

This information is subject to change without notice

© Agilent Technologies, Inc. 2009
Printed in UK, March 30, 2009

5989-7970EN



ANEXO 3

**Multi-band Panel
Dual Polarization
Half-power Beam Width**

1710–2690

X

65°

KATHREIN
Antennen · Electronic

XPoI Panel 1710–2690 65° 18dBi 0°–12°T ESLS

Type No.	80010621v01 <i>clamps included</i>			
Frequency range	1710–2690			
	1710 – 1990 MHz	1920 – 2200 MHz	2200 – 2490 MHz	2490 – 2690 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain (dBi)	17.4 ... 17.4 ... 17.3	18.2 ... 18.0 ... 17.9	18.2 ... 18.1 ... 17.7	18.3 ... 18.0 ... 17.6
Tilt	0° ... 6° ... 12°	0° ... 6° ... 12°	0° ... 6° ... 12°	0° ... 6° ... 12°
Horizontal Pattern:				
Half-power beam width	68°	64°	61°	60°
Front-to-back ratio (180°±30°)	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio	0°	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB
Sector	±60°	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Tracking, Avg.	1.0 dB			
Squint	±2.5°			
Vertical Pattern:				
Half-power beam width	7.1°	6.5°	5.9°	5.7°
Electrical tilt	0°–12°, continuously adjustable			
Sidelobe suppression	0° ... 6° ... 12° T	0° ... 6° ... 12° T	0° ... 6° ... 12° T	0° ... 6° ... 12° T
– for first sidelobe above main beam	≥ 18 ... 18 ... 18 dB	≥ 18 ... 18 ... 18 dB	≥ 18 ... 17 ... 17 dB	≥ 18 ... 18 ... 16 dB
– within 0°–20° sector above horizon	≥ 17 ... 17 ... 16 dB	≥ 17 ... 17 ... 16 dB	≥ 16 ... 18 ... 17 dB	≥ 15 ... 15 ... 14 dB
VSWR	< 1.5			
Isolation, between ports	> 30 dB			
Intermodulation IM3	< –150 dBc (2 x 43 dBm carrier)			
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)			
Input	2 x 7-16 female			
Connector position	Bottom			
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable			
Wind load (at 150 km/h)	Frontal / lateral / rearside: 370 / 135 / 420 N			
Height/width/depth	1400 / 155 / 70 mm			
Category of mounting hardware	M (Medium)			
Weight	8 kg / 10 kg (clamps incl.)			
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 50 – 115 mm diameter			

18/001/900/2010/2690
XPoI



ANEXO 4



860 10017
860 10018
860 10019

Kathrein RF Indoor Power Dividers are designed for use in a number of professional applications including:

- Multi-element antenna arrays.
- Radiating cable systems.
- Cases where efficient broadband power splitting is required.

RF Indoor Power Dividers
694–2700 MHz
For indoor applications

Specifications:

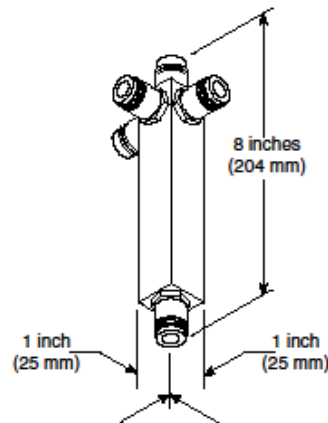
Frequency range	694–2700 MHz		
Impedance	50 ohms		
Insertion loss	<0.05 dB		
Power split ratio			
860-10017	50%/50%		
860-10018	33.3%/33.3%/33.3%		
860-10019	25%/25%/25%/25%		
VSWR	694–964 MHz	790–2500 MHz	2500–2700 MHz
860-10017	<1.5:1	<1.25:1	<2.0:1
860-10018	<1.5:1	<1.25:1	<2.0:1
860-10019	<1.5:1	<1.3:1	<2.0:1
Intermodulation (2x20w)	IM3: <-150dBc		
Maximum input power	100 watts		
Connector	N female		
DC capability	DC transmission between all terminations (suitable for remote power supply systems)		
Environmental conditions	IP 52		
Weight	1.3 lb (0.6 kg)		
Dimensions	8 x 2.5 x 1.6 inches (maximum) (204 x 63 x 41 mm)		
Shipping dimensions	9.5 x 4.3 x 3.7 inches (maximum) (242 x 110 x 95 mm)		
Mounting	For indoor use only. Mounting hardware is not included. Kathrein-Scala recommends the use of nylon tie		



860-10019

Order Information:

Model	Description
860-10017	2-way power divider for indoor use only
860-10018	3-way power divider for indoor use only
860-10019	4-way power divider for indoor use only



All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathrein-scala.com.

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

ANEXO 5

Product Specifications



F4PDMV2-C

7-16 DIN Male for 1/2 in FSJ4-50B cable



CHARACTERISTICS

General Specifications

Interface	7-16 DIN Male
Body Style	Straight
Brand	HELIAX®
Mounting Angle	Straight

Electrical Specifications

Connector Impedance	50 ohm
Operating Frequency Band	0 – 7500 MHz
Cable Impedance	50 ohm
3rd Order IMD, typical	-120 dBm @ 910 MHz
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
RF Operating Voltage, maximum (vrms)	884.00 V
dc Test Voltage	2500 V
Outer Contact Resistance, maximum	1.50 mOhm
Inner Contact Resistance, maximum	0.80 mOhm
Insulation Resistance, minimum	5000 MOhm
Average Power	1.0 kW @ 900 MHz
Peak Power, maximum	15.60 kW
Insertion Loss, typical	0.05 dB
Shielding Effectiveness	-110 dB

Mechanical Specifications

Outer Contact Attachment Method	Crush-flare
Inner Contact Attachment Method	Captivated
Outer Contact Plating	Trimetal
Inner Contact Plating	Silver
Attachment Durability	25 cycles
Interface Durability	500 cycles
Interface Durability Method	IEC 61169-4:9.5
Connector Retention Tensile Force	890 N 200 lbf

www.commscope.com/andrew

©2011 CommScope, Inc. All rights reserved.
All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks or trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change.
See www.commscope.com/andrew for the most current information.

page 1 of 3
7/11/2011

ANEXO 6

Product Specifications



FSJ4RN-50B

FSJ4-50B, HELIAX® Superflexible Foam Coaxial Cable, corrugated copper, 1/2 in, gray non-halogenated, fire retardant polyolefin jacket

OBSOLETE



CHARACTERISTICS

Construction Materials

Jacket Material	Non-halogenated, fire retardant polyolefin
Outer Conductor Material	Corrugated copper
Dielectric Material	Foam PE
Flexibility	Superflexible
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire
Jacket Color	Gray

Dimensions

Nominal Size	1/2 in
Cable Weight	0.15 lb/ft 0.22 kg/m
Diameter Over Dielectric	9.144 mm 0.360 in
Diameter Over Jacket	13.462 mm 0.530 in
Inner Conductor OD	3.556 mm 0.1400 in
Outer Conductor OD	12.192 mm 0.480 in

Electrical Specifications

Cable Impedance	50 ohm \pm 1 ohm
Capacitance	25.2 pF/ft 82.7 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	0.820 ohms/kft 2.690 ohms/km
dc Resistance, Outer Conductor	1.000 ohms/kft 3.281 ohms/km

www.commscope.com/andrew

©2011 CommScope, Inc. All rights reserved.
All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks or trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change.
See www.commscope.com/andrew for the most current information.

page 1 of 4
7/11/2011

ANEXO 7

Product Specifications



L4PNM-RC

Type N Male RingFlare™ for 1/2 in LDF4-50A cable

OBSOLETE

Replaced By:

L4TNM-PS	Type N Male Positive Stop™ for 1/2 in LDF4-50A cable
L4TNM-PSA	Type N Male Positive Stop™ for 1/2 in AL4RPV-50, LDF4-50A cable



CHARACTERISTICS

General Specifications

Interface	N Male
Body Style	Straight
Brand	HELIX® RingFlare™
Mounting Angle	Straight

Electrical Specifications

Connector Impedance	50 ohm
Operating Frequency Band	0 – 8800 MHz
Cable Impedance	50 ohm
3rd Order IMD, typical	-120 dBm @ 910 MHz
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
RF Operating Voltage, maximum (vrms)	707.00 V
dc Test Voltage	2000 V
Outer Contact Resistance, maximum	0.30 mOhm
Inner Contact Resistance, maximum	2.00 mOhm
Insulation Resistance, minimum	5000 MOhm
Average Power	0.6 kW @ 900 MHz
Peak Power, maximum	10.00 kW
Insertion Loss, typical	0.05 dB
Shielding Effectiveness	-130 dB

www.commscope.com/andrew

©2011 CommScope, Inc. All rights reserved.
All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks or trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change.
See www.commscope.com/andrew for the most current information.

page 1 of 3
7/11/2011

ANEXO 8

Product Specifications



LDF4RN-50A

LDF4-50, HELIAX® Low Density Foam Coaxial Cable, corrugated copper, 1/2 in, gray non-halogenated, fire retardant polyolefin jacket



CHARACTERISTICS

Construction Materials

Jacket Material	Non-halogenated, fire retardant polyolefin
Dielectric Material	Foam PE
Flexibility	Standard
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire
Jacket Color	Gray
Outer Conductor Material	Corrugated copper

Dimensions

Nominal Size	1/2 in
Cable Weight	0.15 lb/ft
Diameter Over Dielectric	0.510 in 12.954 mm
Diameter Over Jacket	0.630 in 16.002 mm
Inner Conductor OD	0.190 in 4.826 mm
Outer Conductor OD	0.550 in 13.970 mm

Electrical Specifications

Cable Impedance	50 ohm \pm 1 ohm
Capacitance	23 pF/ft 75.79 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	1.480 ohms/kt
dc Resistance, Outer Conductor	0.580 ohms/kt
dc Test Voltage	4000 V
Inductance	0.058 μ H/ft 0.190 μ H/m
Insulation Resistance	100000 MOhm
Jacket Spark Test Voltage (rms)	5000 V
Operating Frequency Band	1 – 8800 MHz
Peak Power	40.0 kW
Pulse Reflection	0.5%
Velocity	88%

Environmental Specifications

Installation Temperature	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)
Operating Temperature	-30 °C to +80 °C (-22 °F to +176 °F)
Storage Temperature	-30 °C to +80 °C (-22 °F to +176 °F)

From North America, toll free
Telephone: 1-800-255-1479
Fax: 1-800-349-5444

Outside North America
Telephone: +1-708-873-2307
Fax: +1-779-435-8579

© 2007 Andrew Corporation, Westchester, IL 60154 US
All designs, specifications, and availabilities of products and
services presented are subject to change without notice

page 1 of 3
5/16/2007

ANEXO 9

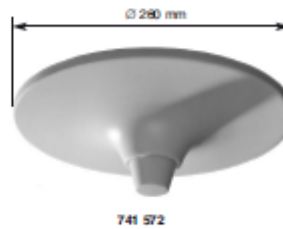
**Indoor Multi-band
Omni Antenna
Vertical Polarization** V

KATHREIN
Antennen · Electronic

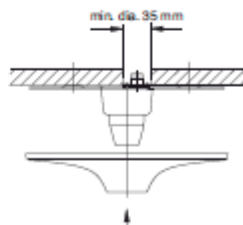
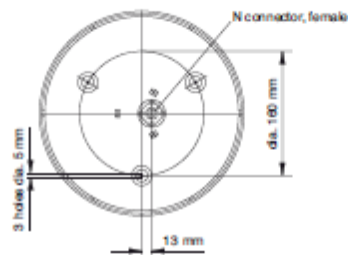
- The antenna can be operated in all frequency ranges simultaneously.
- The antennas need no additional groundplane.

VP of Indoor 876-960/1710-2500 360° 2dBi

Type No.	800 10137
Frequency range	876 – 960 MHz 1710 – 2500 MHz
VSWR	< 1.9: 876 – 890 MHz < 1.6: 890 – 960 MHz < 1.6: 1710 – 2170 MHz < 2.0: 2170 – 2500 MHz
Input	1 x N female
Gain	2 dBi
Impedance	50 Ω
Polarization	Vertical
Max. power (per band)	50 W (at 50 °C ambient temperature)
Weight	300 g
Diameter	210 mm
Height	78 mm (without connector)



- Material:** Base: Aluminum.
Protective housing: High impact polystyrol, colour: White.
Additional painting is possible.
- Mounting:** Three holes in the base enable a mounting on the ceiling. Two types of screws are supplied. For the N connector a hole in the ceiling with a diameter of 35 mm is required.
- Grounding:** All metal parts including the inner conductor are DC grounded.
- Available accessories:** Broadband power splitters and tappers (800 – 2500 MHz).



Clip the protective housing into position after the antenna has been mounted with the help of the three supplied screws.

Indoor VPd