Avaliação do desempenho de uma rede GSM a nível celular

TFC n.º 70 / 2000

Henrique Ferreira n.º 33 257
João Sarmento n.º 35 285

Lisboa, Dezembro de 2001

Sob a Orientação de

Prof. Luís M. Correia

Secção de Propagação e Radiação
Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores
Instituto Superior Técnico

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar um agradecimento especial:

- Aos nossos familiares e amigos pelo apoio prestado durante a realização deste trabalho;
- Ao Professor Luís Correia pela forma como planificou e orientou as várias fases deste Trabalho Final de Curso e também pela disponibilidade sempre que surgiram dúvidas;
- Ao Engenheiro Nuno Lourenço pela sua disponibilidade e apoio;
- Ao Doutor Rui Almeida pelos esclarecimentos prestados na área de programação;
- Ao Engenheiro João Carvalho pelo apoio demonstrado;
- Ao Centro de Operação e Manutenção da TMN em Lisboa.

A todos

Os mais sinceros agradecimentos

RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta de *software* para optimização de uma rede celular em GSM, após o seu planeamento. Esta ferramenta é ligada às estações base e recolhe os "Relatórios de Medida", que contêm a informação acerca do canal de propagação, em termos de nível e qualidade de sinal, assim como outros dados de interesse. Com estes dados produzem-se gráficos que, após análise por técnicos especializados, constituirão uma ajuda para a optimização no planeamento celular.

Neste relatório começa-se por fazer uma descrição do aparecimento de sistema GSM, a sua situação em Portugal e referenciar a sua evolução técnica. Apresenta-se os componentes da rede a faz-se uma abordagem às questões técnicas tanto de planeamento como da interface rádio. Identifica-se e descreve-se os campos das mensagens existentes no Relatório de Medida que vão ser usados na execução do projecto. Descreve-se as propostas de análises gráficas que se podem efectuar, bem como os objectivos destas. São descritas quais as estações base seleccionadas para análise e quais os resultados expectáveis, assim como são apresentados os resultados destas análises. Finalmente, são apresentadas as conclusões deste projecto.

A escolha das estações base para testar a ferramenta recaiu na área da Grande Lisboa, que são representativas de alguns ambientes existentes: a estação "Recta do Cabo" está localizada junto a uma estrada nacional, a estação "Viaduto Duarte Pacheco" está localizada numa das entradas/saídas de Lisboa, a estação "Belém" está localizada junto ao rio Tejo, a estação "Saldanha" insere-se no centro da cidade de Lisboa, e finalmente a estação "Santo António dos Cavaleiros" encontra-se junto à CRIL e ao bairro que lhe deu o nome.

Os gráficos obtidos são diários ou representam amostras do dia. Os gráficos de evolução diária representam as amostras adquiridas ao longo do dia numa estação, e com estes pretende-se saber a evolução do número de subscritores, a localização média destes e a ocupação média de canais físicos ao longo do dia. Os gráficos obtidos através de uma amostra evidenciam as condições no canal de propagação, tanto no sentido ascendente como descendente (qualidade, nível e interferências do sinal). Neste trabalho utiliza-se análises obtidas por ferramentas profissionais para aferir a validade dos resultados obtidos através desta ferramenta, e pode observar-se uma grande concordância de resultados entre estas.

Os resultados obtidos evidenciam uma boa precisão desta ferramenta no processamento dos Relatórios de Medida. Os resultados estão de acordo com os esperados para cada uma das estações base, tendo em consideração a localização dos subscritores, quer seja em linha de vista com a estação, quer seja sem linha da vista.

PALAVRAS CHAVE

GSM. Interface Rádio. Tráfego. Relatórios de Medida. Qualidade de Planeamento.

ÍNDICE

Agradecimentos iii
Resumo e Palavras Chave v
Índice vii
Índice de Figuras ix
Índice de Tabelas xiii
Glossário xv
Lista de Símbolos xvii
Capítulo 1 – Introdução 1
Capítulo 2 – O sistema 5
2.1. Elementos da rede 5
2.2. Estrutura de canais 6
2.3. Estrutura celular e cobertura 7
2.4. *Handover* 8
Capítulo 3 – Relatório de medida 11
3.1. Cabeçalho 11
3.2. Medidas BSS 12
3.3. Medidas MS 14
Capítulo 4 – Ferramenta de análise 17
4.1. Descrição da ferramenta 17
4.1.1. Características 17
4.1.2. Utilização 18
4.1.3. Análises gráficas 21
4.2. Tipo de resultados 23
4.2.1. Localização do tráfego 23
4.2.2. Regime diário do tráfego 26
4.2.3. Ocupação de canais 27
4.2.4. Localização de candidatas a *Handover* 29
4.2.5. Potência da célula e balanceamento de potências 30
4.2.6. Qualidade média da célula servidora 32
4.2.7. Qualidade/Nível no canal de propagação 33
Capítulo 5 – Estudo de células 35
5.1. BTSs seleccionadas 35
5.2. Estudo da célula “Recta do Cabo” 36
5.3. Estudo da célula “Viaduto 1” 39
5.4. Estudo da célula “Viaduto 2” 41
5.5. Estudo da célula “Viaduto 3” 43
5.6. Estudo da célula “Belém” 46
5.7. Estudo da célula “Saldanha” 48
5.8. Estudo da célula “Santo António dos Cavaleiros” 50
Capítulo 6 – Conclusões 53
Anexo A – Canal rádio 55
Anexo B – Relatório de medida 61
Anexo C – Cobertura e desempenho 75
Anexo D – Células analisadas 93
Referências 131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	A ligação de dois mundos, rede móvel e a Internet	2
Figura 2.1	Estrutura típica da rede	5
Figura 2.2	Canais de controlo do sistema	7
Figura 2.3	Exemplo de rede celular	8
Figura 3.1	Relatório de Medida	11
Figura 4.1	Apresentação geral do programa	18
Figura 4.2	Menu Ficheiro	18
Figura 4.3	Menu Editar	19
Figura 4.4	Menu Colar Especial	19
Figura 4.5	Menu Gráfico	20
Figura 4.6	Várias amostras da mesma célula	20
Figura 4.7	Menu Sobre	21
Figura 4.8	Apresentação dos gráficos	21
Figura 4.9	Localização do tráfego; resultado típico de zona urbana	23
Figura 4.10	Localização do tráfego; situação anómala	24
Figura 4.11	Localização do tráfego; identificação dos picos de tráfego	24
Figura 4.12	Localização do tráfego; tráfego afastado da BTS	25
Figura 4.13	Média/Desvio Padrão da Localização do tráfego diário	25
Figura 4.14	Regime diário do tráfego; acessos a zona urbana	27
Figura 4.15	Ocupação de canais; saturação de tráfego e bloqueio de chamada	28
Figura 4.16	Ocupação de canais; tráfego baixo	28
Figura 4.17	Evolução da ocupação de canais diária	29
Figura 4.18	Localização de candidatas a HO; degradação do nível de sinal no limite de cobertura da célula	30
Figura 4.19	Potência da célula; célula com valores tendencialmente elevados	31
Figura 4.20	Balanceamento de potências; atenuação descendente semelhante à ascendente	32
Figura 4.21	Qualidade da célula servidora; degradação da qualidade no limite de cobertura da célula	32
Figura 4.22	Nível de sinal da célula servidora, ligação ascendente e descendente	33
Figura 4.23	Qualidade no canal de propagação; boa qualidade de sinal	34
Figura 4.24	Nível no canal de propagação; bom nível de sinal	34
Figura 5.1	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Recta do Cabo, 10Out'01	37
Figura 5.2	Regime Diário do Tráfego, Recta do Cabo, 10Out'01	37
Figura 5.3	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Recta do Cabo, 10Out'01	38
Figura 5.4	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Viaduto 1, 10Out'01	39
Figura 5.5	Regime Diário do Tráfego, Viaduto 1, 10Out'01	39
Figura 5.6	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Viaduto 1, 10Out'01	40
Figura 5.7	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Viaduto 2, 10Out'01	41
Figura 5.8	Regime Diário do Tráfego, Viaduto 2, 10Out'01	42
Figura 5.9	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Viaduto 2, 10Out'01	43
Figura 5.10	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Viaduto 3, 10Out'01	44

Figura 5.11	Regime Diário do Tráfego, Viaduto 3, 10Out'01	44
Figura 5.12	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Viaduto 3, 10Out'01	45
Figura 5.13	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Belém, 11Out'01	46
Figura 5.14	Regime Diário do Tráfego, Belém, 11Out'01	47
Figura 5.15	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Belém, 11Out'01	47
Figura 5.16	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Saldanha, 10Out'01	48
Figura 5.17	Regime Diário do Tráfego, Saldanha, 10Out'01	49
Figura 5.18	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Saldanha, 10Out'01	49
Figura 5.19	Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Cavaleiros, 10Out'01	50
Figura 5.20	Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Cavaleiros, 10Out'01	51
Figura 5.21	Regime Diário do Tráfego, Cavaleiros, 10Out'01	51
Figura A.1	Canais de controlo do sistema	55
Figura A.2	Mapeamento do canal de voz	56
Figura A.3	*Burst* usado no sistema	57
Figura A.4	Estrutura TDMA	58
Figura A.5	Mapeamento dos canais SACCH, FACCH, BCCH, SDCCH, PCH, AGCH	58
Figura A.6	Mapeamento da multitrama de 51tramas TDMA	59
Figura C.1	Legenda dos níveis de sinal em ambiente exterior	75
Figura C.2	Cobertura simulada da célula Recta do Cabo	76
Figura C.3	Resultados da célula Recta do Cabo	77
Figura C.4	Cobertura simulada da célula Viaduto 1	78
Figura C.5	Resultados da célula Viaduto 1	79
Figura C.6	Cobertura simulada da célula Viaduto 2	80
Figura C.7	Resultados da célula Viaduto 2	81
Figura C.8	Cobertura simulada da célula Viaduto 3	82
Figura C.9	Resultados da célula Viaduto 3	83
Figura C.10	Cobertura simulada das três células do Viaduto Duarte Pacheco	84
Figura C.11	Cobertura simulada da célula Belém, vista ampliada	85
Figura C.12	Cobertura simulada da célula Belém	86
Figura C.13	Resultados da célula Belém	87
Figura C.14	Cobertura simulada da célula Saldanha	88
Figura C.15	Resultados da célula Saldanha	89
Figura C.16	Cobertura simulada da célula S. António de Cavaleiros	90
Figura C.17	Resultados da célula S. António de Cavaleiros	91
Figura D.1	Localização do Tráfego, Recta do Cabo, 9h00 – 9h10	93
Figura D.2	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Recta do Cabo, 9h00 – 9h10	93
Figura D.3	Localização da Candidatas a *Handover*, Recta do Cabo, 14h00 – 14h10	94
Figura D.4	Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Recta do Cabo, 14h00 – 14h10	94
Figura D.5	Localização de Candidatas a *Handover*, Recta do Cabo, 12h00 – 12h10	95
Figura D.6	Localização de Candidatas a *Handover*, Recta do Cabo, 19h00 – 19h10	95
Figura D.7	Balanceamento de Potências, Recta do Cabo, 14h00 – 14h10	96
Figura D.8	Localização do Tráfego, Recta do Cabo, 14h00 – 14h10	96

Figura D.9	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Recta do Cabo, 14h00 – 14h10	97
Figura D.10	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 1, 19h40 – 19h50	97
Figura D.11	Localização de Candidatas a *Handover*, Viaduto 1, 8h40 – 8h50	98
Figura D.12	Localização de Candidatas a *Handover*, Viaduto 1, 19h40 – 19h50	98
Figura D.13	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 1, 8h40-8h50	99
Figura D.14	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 1, 19h40-19h50	99
Figura D.15	Potência da Célula, Viaduto 1, 19h40 – 19h50	100
Figura D.16	Localização do Tráfego, Viaduto 1, 8h40 – 8h50	100
Figura D.17	Balanceamento de Potências, Viaduto 1, 19h40 – 19h50	101
Figura D.18	Localização do Tráfego, Viaduto 2, 10h00 – 10h10	101
Figura D.19	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 2, 19h00 – 19h10	102
Figura D.20	Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente , Viaduto 2, 19h00 – 19h10	102
Figura D.21	Localização de Candidatas a *Handover*, Viaduto 2, 19h00 – 19h10	103
Figura D.22	Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Viaduto 2, 19h00 – 19h10	103
Figura D.23	Localização de Candidatas a *Handover*, Viaduto 2, 10h00 – 10h10	104
Figura D.24	Potência da Célula, Viaduto 2, 10h00 – 10h10	104
Figura D.25	Potência da Célula, Viaduto 2, 20h00 – 20h10	105
Figura D.26	Balanceamento de Potências, Viaduto 2, 19h00 – 19h10	105
Figura D.27	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	106
Figura D.28	Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	106
Figura D.29	Qualidade da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, 15h10 – 15h20	107
Figura D.30	Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, 15h10 – 15h20	107
Figura D.31	Localização do Tráfego, Viaduto 3, 9h10 – 9h20	108
Figura D.32	Localização do Tráfego, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	108
Figura D.33	Potência da Célula, Viaduto 3, 9h10 – 9h20	109
Figura D.34	Potência da Célula, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	109
Figura D.35	Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	110
Figura D.36	Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	110
Figura D.37	Localização de Candidatas a *Handover*, Viaduto 3, 15h10 – 15h20	111
Figura D.38	Localização de Candidatas a *Handover*, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	111
Figura D.39	Balanceamento de Potências, Viaduto 3, 15h10 – 15h20	112
Figura D.40	Balanceamento de Potências, Viaduto 3, 19h10 – 19h20	112
Figura D.41	Localização do Tráfego, Belém, 13h30 – 13h40	113
Figura D.42	Localização do Tráfego, Belém, 18h30 – 18h40	113
Figura D.43	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, 13h30 – 13h40	114
Figura D.44	Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, 18h30 – 18h40	114

Figura D.45 Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, 18h30 – 18h40 115
Figura D.46 Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, 18h30 – 18h40 115
Figura D.47 Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, 13h30 – 13h40 116
Figura D.48 Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Belém, 13h30 – 13h40 116
Figura D.49 Potência da Célula, Belém, 13h30 – 13h40 117
Figura D.50 Potência da Célula, Belém, 18h30 – 18h40 117
Figura D.51 Localização da Candidatas a *Handover*, Belém, 13h30 – 13h40 118
Figura D.52 Balanceamento de Potências, Belém, 13h30 – 13h40 118
Figura D.53 Localização do Tráfego, Saldanha, 17h30 – 17h40 119
Figura D.54 Localização do Tráfego, Saldanha, 20h30 – 20h40 119
Figura D.55 Localização de Candidatas a *Handover*, Saldanha, 17h30 – 17h40 120
Figura D.56 Localização de Candidatas a *Handover*, Saldanha, 20h30 – 20h40 120
Figura D.57 Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Saldanha, 17h30 – 17h40 121
Figura D.58 Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Saldanha, 17h30 – 17h40 121
Figura D.59 Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Saldanha, 17h30 – 17h40 122
Figura D.60 Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Saldanha, 17h30 – 17h40 122
Figura D.61 Percentagem de Ocupação de Canais, Saldanha, 12h30 – 12h40 123
Figura D.62 Potência da Célula, Saldanha, 17h30 – 17h40 123
Figura D.63 Potência da Célula, Saldanha, 20h30 – 20h40 124
Figura D.64 Balanceamento de Potências, Saldanha, 12h30 – 12h40 124
Figura D.65 Balanceamento de Potências, Saldanha, 17h30 – 17h40 125
Figura D.66 Localização do Tráfego, S. António dos Cavaleiros, 15h10 – 15h20 125
Figura D.67 Localização do Tráfego, S. António dos Cavaleiros, 21h10 – 21h20 126
Figura D.68 Percentagem de Ocupação de Canais, S. António dos Cavaleiros, 21h10 – 21h20 126
Figura D.69 Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, S. António dos Cavaleiros, 15h10 – 15h20 127
Figura D.70 Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, S. António dos Cavaleiros, 15h10 – 15h20 127
Figura D.71 Qualidade do Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, S. António dos Cavaleiros, 15h10 – 15h20 128
Figura D.72 Localização de Candidatas a *Handover*, S. António dos Cavaleiros, 15h10 – 15h20 128
Figura D.73 Balanceamento de Potências, S. António dos Cavaleiros 3, 21h10 – 21h20 129

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1	Níveis de RXLEV	12
Tabela 3.2	Níveis de Qualidade de Banda, BER	13
Tabela 3.3	Níveis de Qualidade de Sinal, BER	13
Tabela 3.4	Níveis de "Timing Advance"	13
Tabela 3.5	Níveis de "Power Level" da BS	14
Tabela 3.6	Classes de potências das MSs	14
Tabela B.1	Relatório de Medida	61
Tabela B.2	*Byte* de dados	62
Tabela B.3	"Message Discriminator"	62
Tabela B.4	"Message Type"	62
Tabela B.5	"Channel Number Message"	63
Tabela B.6	Número do TS	63
Tabela B.7	"Measurement Result Number Message"	63
Tabela B.8	"Uplink Measurements Message"	64
Tabela B.9	"BS Power Message"	66
Tabela B.10	Potência máxima das portadoras da BTS	66
Tabela B.11	"L1 Information Message"	66
Tabela B.12	Níveis de "MS Power Level" para o GSM 900	67
Tabela B.13	Níveis de "MS Power Level" para o GSM 1800	68
Tabela B.14	"Power Level Message"	68
Tabela B.15	"Timing Advance Message"	69
Tabela B.16	"L3 Information Message"	69
Tabela B.17	"Link Layer Service Message"	70
Tabela B.18	"Protocol Discriminator"	70
Tabela B.19	"Other Information Element as Required Message"	71
Tabela B.20	Número de células vizinhas da MS	72
Tabela B.21	Codificação do BSIC	72
Tabela B.22	"MS Timing Offset Message"	73

GLOSSÁRIO

AGCH - Access Grant CHannel
BA - BCCH Allocation
BCC - Base Station Colour Code
BCCH - Broadcast Control CHannel
BD - Base de Dados
BER - Bit Error Rate
BS - Base Station
BSC - Base Station Controler
BSIC - Base Station Identity Code
BSS - Base Station Subsystem
BTS - Base Transciever Station
CBCH - Cell Broadcast CHannel
CC - Código Convolucional
CCCH - Common Control CHannel
CCH - Control CHannel
CEPT - Conference of European Post and Telegraphs
DCCH - Dedicated Control CHannel
DCS - Digital Cellular System
DL - DownLink
DRI - Digital Radio Interface
DTX - Discontinuous Transmission
EDGE - Enhanced Data rates for Global Evolution
EIR - Equipment Identify Register
ETSI - European Telecommunication Standards Institute
F - Full
FACCH - Fast Associated Control Channel
FCCH - Frequency Correction Channel
FDMA - Frequency Division Multiple Access
FH - Frequency Hopping
FN - Frame Number
GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS - General Packet Radio Service
GSM - Global System for Mobile Communications (Groupe Spécial Mobile)
HLR - Home Location Register
HO - HandOver
HSCSD - Hight Speed Circuit Switch Data
HTML - Hyper Text Markup Language
ICP - Instituto de Comunicações de Portugal
IMEI - International Mobile Station Equipment Identify
IMT-2000 - International Mobile Telecommunications – 2000
ISDN - Integrated Services Digital Network
ISP - ISDN User Parts
ITU - International Telecommunication Union
L1 - Layer 1
L3 - Layer 3
MoU - Memorandum of Understanding
MR - Measurement Report
MS - Mobile Station
Ms - bit Mais Significativo

ms - bit Menos Significativo
MSC - Mobile services Switching Centre
NCC - Network Colour Code
NMR - Número de Relatórios de Medida
OMC - Operation and Maintenance Centre
OMC-R - Radio OMC
OMC-S - Switching OMC
OSI - Open Systems Interconnection
PCH - Paging CHannel
Pn - Potência Nominal de Transmissão
RACH - Random Access CHannel
RDIS - Rede Digital de Interligação de Serviços
RM - Relatório de Medida
RPE-LTP - Regular Pulse Excited Codec with Long Term Prediction
SACCH - Slow Associated Control CHannel
SCCH - Signaling and Control CHannel
SCH - Signaling CHannel
SDCCH - Stand-Alone Dedicated Control CHannel
SMS - Short Message Service
TA - Timing Advance
TCH - Traffic CHannel
TDMA - Time Division Multiple Access
TMN - Telecomunicações Móveis Nacionais
TN - Time slot Number
TO - Timing Offset
TS - Time Slot
TUP - Telephone User Parts
UL - UpLink
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
VLR - Visiter Location Register
WAP - Wireless Access Protocol
WML - Wireless Markup Language

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{x}$ - Média

σ - Desvio Padrão

ρ - Factor de Correlação

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

No início da década de 80, as redes de comunicações móveis analógicas cresceram e rapidamente evoluíram em toda a Europa, particularmente na Escandinávia e no Reino Unido. Os países aderentes desenvolveram o seu próprio sistema, sendo este incompatível com o dos outros países, quer em termos de equipamento quer em termos de operação. Esta era uma situação insustentável! A Europa caminhava para a unificação, portanto, a diversidade de sistemas móveis de comunicação limitava o mercado para cada tipo de equipamento e a "Globalidade Europeia" não se consumava.

No âmbito da "**C**onference of **E**uropean **P**osts and **T**elegraphs" (CEPT) formou-se em 1982 um grupo de estudo chamado "**G**roupe **S**pécial **M**obile" (GSM) para estudar e desenvolver uma rede móvel europeia, que pudesse ser utilizada por um qualquer país [1], neste momento, GSM significa "**G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications", que foi uma decisão de *Marketing* para transmitir a padronização, os objectivos deste sistema estavam bem definidos: boa qualidade de voz, terminais pequenos de baixo custo, suporte de *roaming* internacional, suporte de novos serviços, boa eficiência espectral, maior segurança e compatibilidade com "**I**ntegrated **S**ervices **D**igital **N**etwork" (ISDN), conhecida em Portugal como "**R**ede **D**igital de **I**nterligação de **S**erviços" (RDIS). O grupo de estudo desenvolveu a rede na banda dos 900 MHz, espectro previamente atribuído pela "**I**nternational **T**elecommunication **U**nion" (ITU).

Em 1989, a responsabilidade do GSM foi transferida para a "**E**uropean **T**elecommunication **S**tandards **I**nstitute" (ETSI), e as especificações da Fase I do GSM foram publicadas em 1990 [1]. A publicação de um "**M**emorandum **o**f **U**nderstanding" (MoU) estabeleceu um acordo entre os Operadores iniciais do GSM e os responsáveis globais, que inicialmente eram 13 e neste momento já ultrapassaram os 200.

O serviço comercial da rede começou em meados de 1991, e em 1993 existiam 36 redes de GSM em 22 países, mas 25 países ponderavam a implementação do GSM. O que se considerava inicialmente como sendo um sistema da Europa, rapidamente se tornou uma opção mundial. No início de 1994, havia em todo o mundo 1,3 milhões de subscritores, sendo neste momento 463 milhões, e prevê-se que no final de 2005 existirão cerca de 850 milhões [2].

Após o lançamento do GSM, o Reino Unido requereu uma especificação baseada no GSM para zonas em que a densidade de utilizadores é muito elevada, e com baixa potência dos telemóveis. Este sistema opera na banda dos 1800 MHz, denominado de GSM 1800 (inicialmente designado por DCS), que funciona como um complemento do sistema GSM 900 para zonas de grande densidade de tráfego.

Em Portugal, o número de assinantes no segundo semestre de 2001 é aproximadamente de 7,2 milhões, o que significa que cerca de 70% da população possui telemóvel [3]. Quanto ao tráfego, houve um crescimento de 11% do número de chamadas de 2000 para 2001 considerando o primeiro trimestre de cada ano, e hoje o tempo médio de conversação por chamada é de 1,5 minuto. Em matéria de qualidade, os Operadores têm vindo a desenvolver esforços substanciais, quer na instalação de novas "**B**ase **T**ranseiver **S**tation" (BTS), quer quanto à optimização da capacidade existente. Tem sido também realizado um esforço considerável no aumento dos índices de qualidade e de optimização da arquitectura da rede instalada. Actualmente a cobertura do território nacional está acima de 88%.

A cobertura total representa a total satisfação do cliente. No entanto, tal cobertura não é sinónimo de um serviço de qualidade, pois existem interferências entre BTSs e também a necessidade de **H**and**O**ver (HO) que tem de ser realizado com taxas de sucesso elevadas. Para avaliar a qualidade de rede o "**I**nstituto de **C**omunicações de **P**ortugal" (ICP) iniciou a 17 de Fevereiro de 2000 testes à qualidade do serviço prestado pelos Operadores, em que são

aferidos os indicadores considerados mais pertinentes para o consumidor, mediante a utilização de equipamento específico. Depois de recolhidos, os dados são tratados estatisticamente e divulgados, de forma regular, ao público em geral. Como conclusões destes testes é de salientar que de uma maneira geral, os Operadores nacionais não obtiveram boa classificação para o índice de chamadas perdidas em zonas urbanas, nos testes efectuados no ano de 2000. Igualmente em Fevereiro de 2001 o ICP iniciou uma nova campanha de testes à qualidade do serviço prestado pelos Operadores, o relatório final foi divulgado em Setembro com conclusões semelhantes às do ano anterior.

Actualmente o GSM encontra-se em fase de evolução, através da introdução de novas tecnologias na rede, com vista a adapta-la à nova realidade da sociedade da informação. As evoluções consistem em adaptar o sistema por forma a este suportar o tráfego de dados de grande velocidade, pois esta é a característica mais importante para permitir, por exemplo, o acesso à *Internet* ou a redes privadas de dados. Tais tecnologias são o "**H**igh **S**peed **C**ircuit **S**witch **D**ata" (HSCSD), "**G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice" (GPRS) e o "**E**nhanced **D**ata rates for **G**lobal **E**volution" (EDGE).

O HSCSD permite maiores taxas de transmissão devido ao agrupamento de diversos canais de transmissão numa única chamada de dados, permitindo ao utilizador uma "banda larga exclusiva", mas necessita de novos mecanismos na interface rádio para a gestão efectiva dos canais físicos. Enquanto a transmissão de dados via GSM tradicional permite a uma pessoa a utilização de um canal físico a 9,6 kbps, o HSCSD dá o acesso a vários canais em simultâneo. Em Portugal, este serviço está disponível na Vodafone desde Maio de 2001 em quatro "Time **S**lot" (TS), disponibilizando uma largura de banda máxima de 57,6 kbps.

O GPRS é um sistema que permite acesso a serviços de voz, dados e multimédia através das redes de GSM. O GPRS recorre ao sistema de comutação por pacotes, ao invés do GSM na versão anterior que utiliza a comutação por circuitos. A potencialidade do serviço GPRS é o acesso dos telemóveis à *Internet*, quer através do protocolo "**W**ireless **A**ccess **P**rotocol" (WAP) quer indirectamente através de computador portátil ou de *Palmtop*. A introdução do GPRS faz com que os utilizadores tenham velocidade máxima de acesso à rede de 171,2 kbps (este caso acontece quando o utilizador usa 8 TSs sem fazer correcção de erros). Esta tecnologia está a ser amplamente aplicada nas redes europeias incluindo o caso de Portugal, onde, actualmente, as zonas urbanas de Lisboa e Porto têm o GPRS à disposição.

O EDGE usa a mesma estrutura que o GSM (HSCSD e GPRS), mas com um novo esquema de modulação (8-PSK) e novas técnicas de codificação de canal, o que permite taxas de transmissão máximas por TS de 69,2 kbps [4]. Quando esta técnica é combinada com o GPRS obtém-se uma largura de banda máxima de 384 kbps por subscritor. O EDGE poderá vir a ser utilizado pelos Operadores móveis que ficaram sem licença para operar com a terceira geração.

O desenvolvimento do protocolo WAP surge da necessidade da ligação das comunicações móveis à *Internet* e do aproveitamento da arquitectura aberta desta, a par de uma evolução muito rápida do mundo das telecomunicações. As páginas deste serviço, "**W**ireless **M**arkup **L**anguage" (WML) são muito mais simples e "leves" do que as páginas em "**H**iper **T**ext **M**arkup **L**anguage" HTML, Figura 1.1.

Figura 1.1: A ligação de dois mundos, rede móvel e a *Internet*.

O ***Bluetooth*** é uma iniciativa global de alguns fornecedores de equipamentos para a padronização da ligação sem fios entre telemóveis, computadores portáteis e outros

periféricos. A interligação via rádio terá um alcance muito curto [5]. O *Bluetooth* transmite em baixa potência (1 mW), alta frequência (2,402-2,480 GHz), alto d*ébit*o binário (1 Mbps) características que podem ser utilizadas para aplicações específicas.

Na transmissão de dados, as opções HSCSD, GPRS e o EDGE trazem ao GSM maiores velocidades. Mas o GSM estará no fim da sua vida, pois este tipo de tecnologia rapidamente atingirá o seu limite devido às exigências cada vez maiores da sociedade de informação. Portanto, daqui advém a necessidade de avançar para uma terceira geração com maiores débitos binários.

Com o objectivo de resolver as incompatibilidades das redes móveis dos vários países, a ITU criou o "**I**nternational **M**obile **T**elecommunications 2000" (IMT-2000) definindo-o como padrão internacional de um sistema de comunicações de elevado débito, 2 Mbps em determinadas circunstâncias de muito baixa mobilidade e boa cobertura. O IMT-2000 é um sistema que permite o acesso aos serviços de voz, dados e multimédia em qualquer ponto do planeta e em qualquer instante. O IMT-2000 como plataforma de internacionalização inclui vários grupos, entre os quais está o "**U**niversal **M**obile **T**elecomunications **S**ystem" (UMTS) como sistemas de redes móveis de terceira geração [3].

O UMTS funcionará em paralelo com a actual rede de GSM, porque a terceira geração está mais vocacionada para aplicações complementares de transmissão de voz, como dados e vídeo, e não chegará imediatamente a todo o território coberto pela rede da 2ª geração. O UMTS, contrariamente ao GPRS, implica uma ruptura completa com as actuais redes móveis em termos de equipamento. É necessário uma rede completamente nova. O sistema UMTS será o culminar da evolução das comunicações móveis, pelo menos a curto prazo, dando capacidades aos utilizadores de voz, e multimédia, assim como *Internet* e dados, nunca antes possíveis.

Este trabalho pretende optimizar e identificar problemas na rede a nível celular, através de medidas efectuadas pelas BTSs e "**M**obile **S**tation" (MS). As medidas utilizadas são obtidas através dos "**R**elatórios de **M**edida" (RM) na interface rádio, onde estão os parâmetros que se pretende utilizar para a implementação desta ferramenta. Portanto, a análise de resultados é feita em tempo real, porque os RMs são gerados pelos subscritores que no momento de recolha de dados estão a utilizar os serviços.

A necessidade de optimizar a rede é cada vez mais frequente e mais complexa, devido ao número crescente tanto de utilizadores da rede, transportando as suas MSs, como das BTSs necessárias para dar cobertura e suportar a densidade de tráfego gerada pelos utilizadores. O aumento de tráfego provoca que a interferência entre MSs e BTSs seja cada vez maior e que seja necessário cada vez mais intervenção por parte dos Operadores no sentido de manter os padrões de qualidade exigidos. Este trabalho aparece assim com o objectivo de ser um auxiliar na identificação e diagnóstico dos problemas que possam surgir na rede GSM ao nível da interface rádio.

No capítulo 2 apresenta-se os diversos módulos que constituem uma rede GSM, e faz--se uma abordagem aos aspectos teóricos e técnicos mais relevantes para o entendimento do sistema e execução do trabalho. No capítulo 3 apresenta-se o RM que contém toda a informação necessária para atingir o objectivo deste projecto. O RM está dividido em três partes: cabeçalho, medidas de BSS e medidas de MS. No capítulo 4 apresenta-se as análises gráficas que se realizarão, o processo de obtenção destas e os objectivos a que se propõem. Neste capítulo também se procede à apresentação da ferramenta realizada para suportar este projecto, a nível da sua utilização e aspecto visual. No capítulo 5 descrevem-se as BTSs seleccionadas para estudo e apresentam-se os resultados da aplicação da ferramenta nos diversos ambientes. O capítulo 6 apresenta as conclusões. Paralelamente ao desenvolvimento do texto principal deste relatório, os anexos presentes no fim do mesmo são de consulta auxiliar para um melhor entendimento e estruturação dos textos apresentados.

CAPÍTULO 2 - O SISTEMA

Neste capítulo apresentam-se todos os componentes de uma rede GSM, e faz-se uma abordagem às questões técnicas, tanto de planeamento como da interface rádio.

2.1 ELEMENTOS DA REDE

A estrutura usual da interligação dos diversos módulos de uma rede GSM é apresentada na Figura 2.1[6].

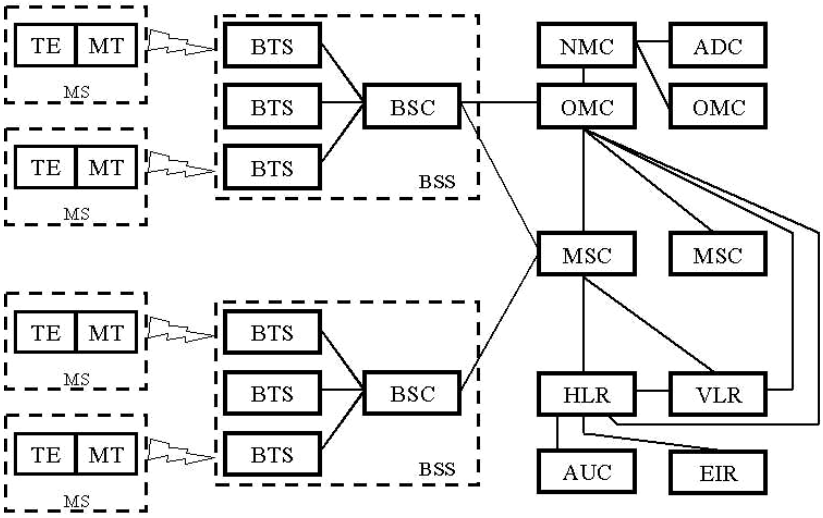

Figura 2.1: Estrutura típica da rede (extraído de [6]).

O equipamento mais conhecido do grande público é a MS; este é o equipamento que torna possível o utilizador aceder à rede móvel e aos serviços por ela proporcionados. A MS é vulgarmente conhecida por telemóvel, podendo ser portátil ou instalada em veículos. O GSM define configurações de referência para que as MSs de diversos fabricantes sejam compatíveis com a rede. Esta liga-se via interface ar à BTS. As BTSs estão ligadas ao "**B**ase **S**tation **S**ubsystem" (BSS) que é responsável pelas funções de controlo e cobertura rádio de uma ou mais BTSs e as MSs a elas associados. Um BSS é o agrupamento de uma "**B**ase **S**ite **C**ontroler" (BSC) e de uma ou mais BTSs. O BSC suporta múltiplas BTSs, garantindo as funções de processamento das chamadas e a interface com o comutador. As principais funções do BSC incluem as gestão dos canais rádio, e a transferência de sinalização de e para a MS. Muitas mensagens de sinalização não afectam directamente o BSC, servindo esta somente como um ponto de passagem entre a MS e o "**M**obile service **S**witching **C**entre" (MSC). Cada BTS contém o equipamento para comunicação rádio com as MSs numa dada área.

O MSC é uma entidade que coordena a preparação das chamadas de e para as MSs. É o centro de comutação telefónica para o tráfego e é responsável pelos serviços suplementares proporcionados ao utilizador. Controla um determinado número de BSSs e fornece ao subsistema de rádio acesso às bases de dados dos subscritores e do equipamento. O MSC também é responsável pela função de sinalização, utilizando para tal o protocolo de comunicação SS#7. As formas de protocolos utilizados são o "**T**elephone **U**ser **P**arts" (TUP) no caso da rede fixa analógica e o "**I**SDN **U**ser **P**arts" (ISP) para a rede digital. O MSC tem interfaces para: "**S**witching **OMC**" (OMC-S), outros MSC da mesma rede móvel, BSS, registos (HLR, VLR e EIR), centro de serviço de emergência, centro de serviços de "**S**hort **M**essage **S**ervice" (SMS), e outras redes telefónicas e de dados. O MSC ainda mantém o sincronismo de toda a rede móvel e fornece o sincronismo ao BSS que a ele estão ligados

fisicamente. Por fim, o MSC recolhe estatísticas de tráfego para a gestão do desempenho do sistema.

Os subscritores de uma rede GSM estão centralizados numa "**B**ase de **D**ados" (BD) denominada de "**H**ome **L**ocation **R**egister" (HLR). O "**V**isiter **L**ocation **R**egister" (VLR) é uma BD local dos subscritores, guardando detalhes dos subscritores que se encontram em determinada área da rede. O VLR fornece ao sistema a informação básica de um dado subscritor, evitando um acesso ao HLR todas as vezes que essa informação é requerida. Existem ainda outros equipamentos que contêm bases de dados tal como o "**E**quipment **I**dentify **R**egister" (EIR) que é uma BD centralizada para a validação do "**I**nternational **M**obile Station **E**quipment **I**dentify" (IMEI), número de série único e exclusivo da MS.

O "**O**peration and **M**aintenance **C**entre" (OMC) é um elemento da rede que controla e monitoriza todos os outros elementos numa determinada região. Existem diferentes áreas de operação que são executadas por sistemas diferentes:

- "**OMC R**adio" (OMC-R) – Monitorização e gestão dos sistemas de rádio;
- "**OMC S**witching" (OMC-S) – Monitorização e gestão das funções de comutação (operação do MSC). O OMC-S é frequentemente implementado no MSC.

No OMC podem ser retiradas estatísticas relativas a tráfego e sinalização dos vários elementos da rede. O OMC controla ainda o *software* existente e a configuração de cada elemento da rede, assim como os *upgrade* de *software*. O OMC permite o *download*, *upload* de *software*, ou informação guardada em cada elemento da rede.

2.2 ESTRUTURA DE CANAIS

As bandas de frequências estão divididas em vários canais rádio espaçados entre si de 200 kHz, ou seja, existe um total de 124 canais rádio para o GSM 900 e 374 canais rádio em GSM 1800 [7]. Este método de divisão chama-se "**F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess" (FDMA).

Os sinais em formato digital que transitam nos canais rádio são modulados, com uma largura de banda de 200 kHz, utilizando a modulação "**G**aussian **M**inimum **S**hift **K**eying" (GMSK). Este esquema de modulação foi seleccionado entre outros por apresentar o melhor compromisso entre eficiência espectral, complexidade do modulador e limitação de espúrias emitidas. A complexidade está intimamente relacionada com o consumo de energia, especialmente na MS, e a emissão de espúrias devido ao facto de estas serem minimizadas, pois comprometem a qualidade dos canais rádio adjacentes. O sistema GSM 900 ocupa o espectro no canal ascendente de 890-915 MHz e em canal descendente de 935-960 MHz. O GSM 1800 ocupa em canal ascendente a banda de 1710-1785 MHz e em canal descendente de 1805-1880 MHz.

O canal rádio está dividido em 8 intervalos de tempo iguais, sendo cada um deles definido como um canal físico de comunicação, TS. Este método de divisão no tempo tem o nome de "**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess" (TDMA). O sistema GSM é uma combinação FDMA/TDMA, utilizando a técnica de comutação de circuitos.

Os TSs alojam diferentes tipos de informação: são usados como canais de tráfego de dados ou voz, ou como canais de controlo, também denominados por canais lógicos. Ao conjunto de 8 TSs dá-se o nome de Trama.

A troca de informação entre MS e BTS faz-se através da interface rádio, e a informação é transmitida em canais de controlo e canais de tráfego. Estes dois tipos de canais são denominados de "**T**raffic **Ch**annel" (TCH) para troca de dados e voz, e "Signaling and **C**ontrol **Ch**annel" (CCH) para controlo e sinalização, Figura 2.2. No Anexo A faz-se a descrição detalhada dos canais existentes na interface rádio.

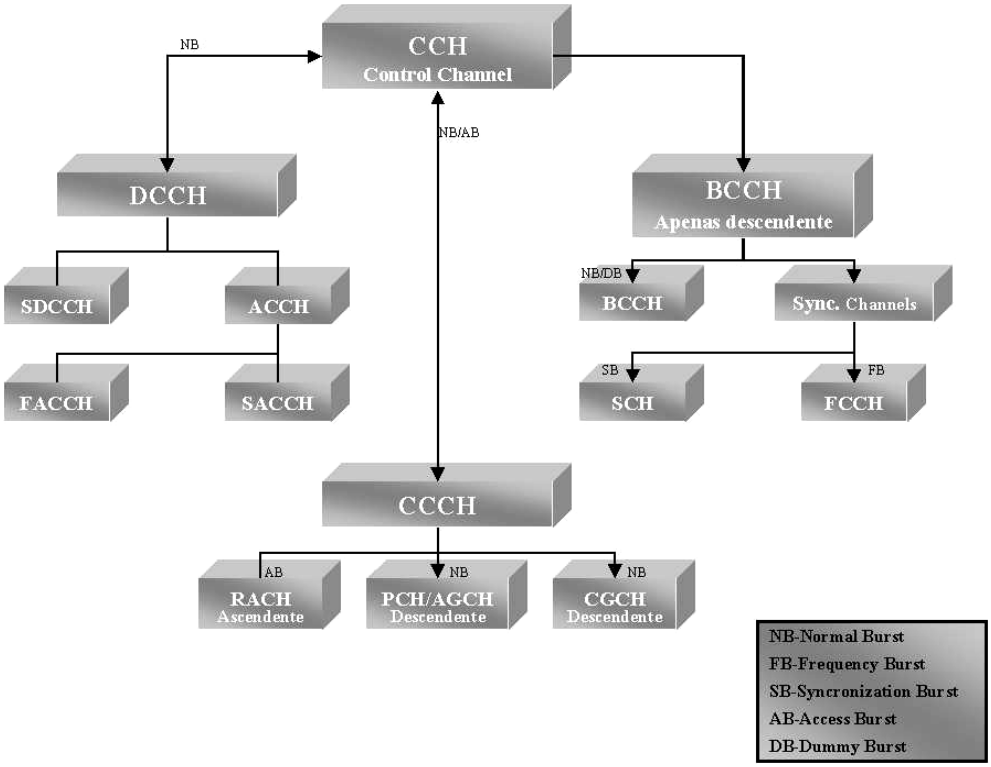

Figura 2.2: Canais de controlo do sistema (extraído de [6]).

No caso dos canais TCHs, o tráfego de voz é feito a *Full Rate* a 22,8 kbps o que implica a ocupação de um TS pelo TCH. De referir que o ritmo binário de voz codificada é de 13 kbps. A diferença para o ritmo de 22,8 kbps resulta do acoplamento de informação de controlo.

Relativamente aos canais CCH existem três categorias: "**B**roadcast **C**ontrol **Ch**annel" (BCCH), "**C**ommon **C**ontrol **Ch**annel" (CCCH) e "**D**edicated **C**ontrol **Ch**annel" (DCCH).

O BCCH é constantemente transmitido por todas as células, com potência fixa e transporta informação genérica para a MS. Em cada célula existe sempre um TS atribuído ao BCCH, e este é usado pelos móveis para a geração de medidas que servem para a elaboração de "**R**elatórios de **M**edida" (RM) descritos no Capítulo 3.

O grupo CCCH também contempla quatro tipos de canais: "**P**aging **Ch**annel" (PCH) , "**R**andom **A**ccess **Ch**annel" (RACH), "**A**ccess **G**rant **Ch**annel" (AGCH) e "**C**ell **B**roadcast **Ch**annel" (CBCH).

No grupo dos DCCH, existe em particular o canal "**S**low **A**ssociated **C**ontrol **Ch**annel" (SACCH), onde são trocadas diversas mensagens de informação entre a MS e a BTS.

2.3 ESTRUTURA CELULAR E COBERTURA

Na maior parte dos casos, um canal rádio por célula é insuficiente para o tráfego existente, logo existe a necessidade de adicionar mais canais rádio às células. Devido à escassez de espectro, existe a necessidade de rentabilizar as frequências e surge o conceito de *cluster*. O *cluster* é um grupo de células que faz a cobertura de uma determinada área, em que as frequências são distribuídas de forma metódica. Quando se pretende fazer a cobertura de uma grande área, repete-se o padrão do *cluster* até fazer a cobertura do território alvo [7]. O c*luster* utilizado pelo GSM é constituído por quatro BTSs, Figura 2.3.

A densidade de tráfego não é homogénea em toda a área de cobertura, portanto o tamanho das células dos *cluster* pode aumentar ou diminuir. A distribuição dos canais rádio pelas células faz-se por forma a que seja minimizada a interferência de canal adjacente, ou

seja, canais adjacentes nunca são atribuídos à mesma célula, e geometricamente devem estar o mais afastados possível.

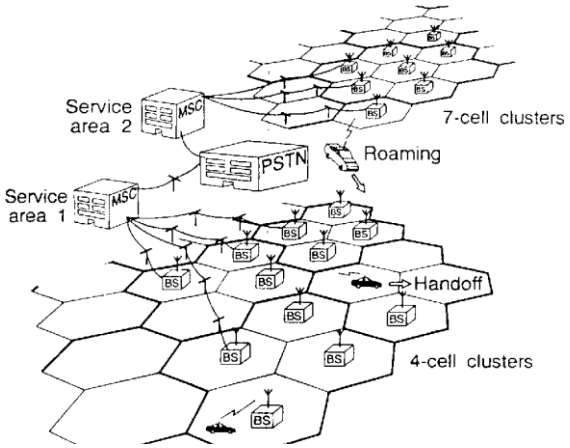

Figura 2.3: Exemplo de rede celular (extraído de [7]).

A BTS pode possuir uma ou mais células, e estas células podem ter um ou mais canais rádio. Uma BTS apenas com uma célula é omnidireccional, e quando possui mais do que uma diz-se que está sectorizada. Considera-se que a área de cobertura de uma BTS é um hexágono.

Para aumentar a capacidade de tráfego das BTSs, através de introdução de mais canais rádio, opta-se pela sectorização. Esta técnica consiste na utilização de antenas com abertura de 120º para 3 sectores por BTS, ou de 60º para 6 sectores por BTS, ao invés da BTS ser omnidireccional. Desta forma passa-se de uma BTS unicelular para uma BTS de 3 ou 6 células.

Em zonas onde o tráfego é substancialmente mais elevado que o inicialmente planeado, tais como centros comerciais ou avenidas com muito trânsito em horas de ponta, opta-se actualmente pela colocação de micro-células. Estas são colocadas nestes espaços para cobrir o excedente de tráfego que a célula local não consegue satisfazer, e para optimizar a área de cobertura. Assim, possuem normalmente potência muito limitada, para que a sua zona de cobertura não exceda aquela para que foi projectada.

Para pequenas áreas com cobertura deficiente, como sejam edifícios de escritórios ou parqueamentos subterrâneos, em que as macro-células têm dificuldade em cobrir, habitual (devido às limitações de potência para que não sejam geradoras de interferência), é usarem-se repetidores. Estes reproduzem os canais rádio da célula local, potenciando assim toda a capacidade de tráfego. Em determinados edifícios, como sejam os de escritórios, opta-se pela utilização de pico-células nos diversos andares, com um esquema estruturado de antenas.

2.4 HANDOVER

A possibilidade de manter uma chamada estando a MS em movimento é uma das características importantes do GSM. Com a mobilidade da MS, as características da comunicação rádio alteram-se, pelo que, é necessário uma mudança de células de serviço por parte do móvel, que se designa por "**H**and**O**ver" (HO). A decisão de iniciar o HO e a escolha da célula de destino são baseadas num número de medidas efectuadas na interface rádio.

O processo do HO implica a existência de uma lista de vizinhas para cada célula, que especifica as células para as quais uma MS pode fazer HO. As frequências do BCCH das vizinhas e os "**B**ase **S**tation **I**dentity **C**ode" (BSIC) são as informações continuamente transmitidas no canal BCCH de uma determinada célula. A MS está continuamente a detectar as frequências das células vizinhas e a medir os seus níveis de sinal; as médias das medições são depois enviadas para o BSC utilizando o canal SACCH. No BSC é guardada uma tabela contendo estas medidas, e por comparação destes resultados com os níveis de HO definidos

(quer pela norma GSM, quer pelo Operador ou pelo fornecedor) decide-se a execução do HO. A decisão de tentar um HO de uma determinada MS é tomada pelo BSC. Uma vez tomada a decisão, e escolhida a nova célula, a transferência é coordenada entre as MS e os BSCs que gerem a nova e a antiga célula; o HO pode ser inicializado por um BSC ou por um MSC, pelo menos uma vez por segundo.

À primeira vista, pode-se pensar que o HO acontece apenas para a continuidade da chamada, mas tal facto não corresponde completamente à verdade. Existem três razões para efectuar o HO:

- HO de Resgate, é aquele que se realiza para diminuir a probabilidade da chamada cair se não se mudar de célula; neste caso, o critério utilizado é a qualidade do sinal no canal ascendente e no canal descendente;
- HO de Limitação, é aquele que se realiza com o objectivo de optimizar o nível de interferência global se a MS mudar de célula; neste caso, o critério utilizado é a qualidade do sinal no canal ascendente e no canal descendente da célula vizinha;
- HO de Tráfego, é aquele que se realiza quando a célula está congestionada e as células vizinhas não; este tipo de HO melhora temporariamente o tráfego.

O HO é uma comutação do canal físico e podem ser de quatro formas:

- comutação entre canais da mesma célula, Intra Cell-HO;
- comutação entre canais de células diferentes da mesma BTS, Intra BTS-HO;
- comutação entre canais de células diferentes da mesma BSC, Inter BTS-HO;
- comutação entre canais de células pertencentes a diferentes BSC, mas pertencentes ao mesmo MSC, Inter BSC-HO;
- comutação entre canais de células pertencentes a diferentes MSC, Inter MSC-HO.

A decisão do HO é criada pelo BSC tal como a prioridade de cada um dos HO. O *software* das BTSs e dos BSCs tem a possibilidade de ser alterado, parametrizado, para definir quando e como se faz o HO. A prioridade dos HO é hierarquizado pelo seguinte critério:

1. qualidade do sinal ascendente e descendente;
2. interferência do sinal ascendente e descendente;
3. nível do sinal ascendente e descendente;
4. "**T**iming **A**dvance" (TA);
5. *Power Budget* (escolha de uma célula vizinha que apresente melhores condições de qualidade, interferência e de nível);
6. congestionamento;
7. *Multiband* (interferência de canal adjacente).

CAPÍTULO 3 – RELATÓRIO DE MEDIDA

Neste capítulo faz-se uma descrição dos campos do RM a utilizar na execução do projecto. A informação contida neste capítulo é retirada da Norma GSM, ETSI [8]. No Anexo B faz-se a descrição detalhada do conteúdo do RM.

3.1 CABEÇALHO

O desempenho dos sistemas rádio móvel é fortemente limitado e influenciado pelo canal de propagação. O RM caracteriza o sinal no canal de propagação, tanto no sentido descendente como no ascendente, este é enviado pela BTS para o BSC, e contém os resultados das medidas realizadas na interface rádio. Estes resultados são usados pelo BSC para determinar correcções ao nível de potência de emissão de rádio frequência, correcção de sincronismo ou ainda avaliar a necessidade de se proceder ao HO.

O RM é apresentado na Figura 3.1, onde estão representados todos os campos que o constituem. O RM é reportado nas mensagens *Measurement Report* enviadas em cada bloco SACCH (todos os 480 ms), e no caso do canal SACCH ser usado por outro tipo de sinalização é enviado pelo menos uma vez por segundo.

MEASUREMENT REPORT #205 DRI 0 TS 3 TCH(full) EQ MODE: Rel
BSS: DTX 0 RXL 1/14 RXQ 6/0 TA 2 BS PWR 0 MS PWR 0
MS: BA 1 DTX 1 MV y RXL 33/33 RXQ 0/0 REL TA -1/0 NCELLS 4 freq/bsic/rxl:
788/1dh/30 781/2dh/27 96/3eh/26 84/3ah/13 65535/00h/00 65535/00h/00

Figura 3.1: Relatório de Medida.

O RM contém toda a informação necessária para atingir o objectivo a que este trabalho se propõe e está dividido em três partes: a primeira, cabeçalho, identifica o número de sequência, onde e como se obteve este; a segunda, medidas BSS, descreve as medidas efectuadas pela BTS (medidas ascendentes); a terceira, medidas MS, descreve as medidas efectuadas pela MS (medidas descendentes). Nos parágrafos seguintes far-se-á uma descrição dos campos das mensagens que serão utilizados.

Os campos pertencentes ao cabeçalho e respectiva descrição são:

- **TIPO DE MENSAGEM (***MEASUREMENT REPORT***)**

Este campo de informação identifica qual o tipo de relatório que está a ser enviado. Para este projecto, a mensagem é sempre um RM.

- **NÚMERO DO RELATÓRIO DE MEDIDA (***#205***)**

Este campo de informação é usada pela BTS para numerar, por canal, o RM que é enviado. Quando um determinado canal é activado, o seu valor é posto a zero. Este campo é em módulo 256.

- **POSIÇÃO DA PORTADORA (***DRI 0* **)**

Este campo identifica o transreceptor da célula de onde se está a retirar os RMs.

- **NÚMERO DE CANAL (***TS 3* **)**

Este campo identifica qual o TS que está a ser usado para a troca de informação entre a MS e a BTS.

- **DÉBITO DE CANAL (*TCH(full)*)**

Este campo identifica o canal/subcanal físico atribuído à MS e o débito existente neste (*Full*= 9,6 kbps e *Half*=4,8 kbps).

- **MODO DE EQUALIZADOR (*EQ MODE: Rel*)**

Este campo é da responsabilidade do fabricante de equipamento (este campo não é utilizado na execução do projecto).

3.2 MEDIDAS BSS

Descreve-se em seguida os campos relativos ao canal ascendente:

- **DESCONTINUIDADE DE TRANSMISSÃO (*DTX 0*)**

Este *bit* indica se a BTS utiliza descontinuidade de transmissão durante o período de medida, e desta forma sabe-se que tipo de medida se utiliza para os algoritmos de HO, isto é, *Full* ou *Sub*. Esta facilidade é decidida pelo Operador, ou seja, é um parâmetro do sistema.

- *Bit*_DTXd = 0 $\Rightarrow$ não existe descontinuidade na transmissão, portanto a medida considerada é *Full*;
- *Bit*_DTXd = 1 $\Rightarrow$ existe descontinuidade na transmissão, "Ruído de Conforto", portanto a medida considerada é *Sub*.

- **NÍVEL DO SINAL, RXLEV_SUB_UP / RXLEV_FULL_UP (*RXL 1/14*)**

Este campo indica a média do nível do sinal ascendente. Estas medidas são efectuadas pelo transreceptor da BTS durante todo o período de medida em todos os TSs existentes. Estas medidas são efectuadas dos –110 até aos –48 dBm, com uma precisão de 4 dBm dos –110 aos –70 dBm em condições normais, e com uma precisão de 6 dBm em todo o intervalo em condições extremas. As medidas do nível de sinal estão mapeadas entre 0 e 63, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Níveis de RXLEV.

RXLEV		Intervalo de Potências [dBm]
0	=	< –110
1	=	-110 < < -109
2	=	-109 < < -108
. .		
62	=	-49 < < -48
63	=	-48 <

- **QUALIDADE DO SINAL, RXQUAL_SUB_UP/RXQUAL_FULL_UP (*RXQ 6/0*)**

Este campo é a média da qualidade do sinal ascendente. Estas medidas são efectuadas pelo transreceptor da BTS, durante todo o período e em todos os TSs existentes.

A medida da qualidade do sinal recebido é efectuado pela MS e pela BSS, de forma a relatar o "***Bit* Error Rate**" (BER) do canal antes deste ser descodificado. O período de medida para avaliação é uma multitrama SACCH, e as medidas anteriores a esta não são contabilizadas para a média. A Qualidade de Banda está mapeada conforme Tabela 3.2; e esta tabela é utilizada quando o Operador decide operar em "**F**requency **H**opping", (FH). As medidas de Qualidade de Sinal são mapeadas conforme a Tabela 3.3; e esta tabela é utilizada quando o Operador não opera em FH.

Tabela 3.2: Níveis de qualidade de banda, BER.

QUALIDADE DE BANDA RXQUAL	BER [%]	PROBABILIDADE DA MS MEDIR CORRECTAMENTE O RXQUAL [%]	
		Canal "FULL RATE"	em modo DTX
0	< 0,1	> 90	> 65
1	0,26 < < 0,30	> 75	> 35
2	0,51 < < 0,64	> 85	> 45
3	1,0 < < 1,3	> 90	> 45
4	1,9 < < 2,7	> 90	> 60
5	3,8 < < 5,4	> 95	> 70
6	7,6 < < 11,0	> 95	> 80
7	> 15,0	> 95	> 85

Tabela 3.3: Níveis de qualidade de sinal, BER.

QUALIDADE DE SINAL RXQUAL	BER [%]	VALOR DE BER ASSUMIDO [%]
0	< 0,2	0,14
1	0,2 < < 0,4	0,28
2	0,4 < < 0,8	0,57
3	0,8 < < 1,6	1,13
4	1,6 < < 3,2	2,26
5	3,2 < < 6,4	4,53
6	6,4 < < 12,8	9,05
7	> 12,8	18,10

- **DISTÂNCIA DA MS, ACTUAL TIMING ADVANCE (*TA 2*)**

Este campo indica qual o número de *bits* de avanço com que a MS tem de transmitir de forma a compensar a distância que o sinal percorre entre a MS e a BTS, permitindo o sincronismo das tramas das diferentes MSs à chegada. Se necessário, corrigir a sua frequência *standard* para estar sincronizada com a BSS. O mapeamento do TA é apresentado na Tabela 3.4. Um *bit* de avanço representa, aproximadamente, uma distância de 500 metros.

Tabela 3.4: Níveis de "Timing Advance".

Valor	*Timing Advance*
000000	0 multitramas SACCH
000001	1 multitramas SACCH
000010	2 multitramas SACCH
.	
111110	62 multitramas SACCH
111111	63 multitramas SACCH

- **POTÊNCIA DA BS (*BS PWR 0*)**

Este campo indica o nível de potência de transmissão da BTS num canal físico. Esta facilidade é decidida pelo Operador, sendo portanto um parâmetro do sistema. As medidas de "Power Level" são mapeadas em 15 níveis de 2 dB com uma tolerância de 1,5 dB, sendo Pn o

valor nominal de potência de transmissão. A Tabela 3.5 mostra o mapeamento dos níveis de potência.

Tabela 3.5: Níveis "Power Level" da BS.

Valor	Power Level
00000	Pn
00001	Pn-2dB
00010	Pn-4dB
.	
01110	Pn-28dB
01111	Pn-30dB

- **POTÊNCIA DA MS (*MS PWR 0*)**

Este campo indica o nível de potência de transmissão da MS. Esta facilidade é decidida pelo Operador, ou seja, um parâmetro do sistema.

A máxima potência da MS é definida de acordo com a sua classe, como se apresenta na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Classes de potências das MSs.

Classe	**Potência Máxima**			
	GSM900		**GSM1800**	
	[W]	[dBm]	[W]	[dBm]
1	----	----	1	30
2	8	39	0,25	24
3	5	37	4	36
4	2	33	----	----
5	0,8	029	----	----

Os níveis de "MS Power Level" para as MSs estão mapeados conforme as Tabelas B.12 e B.13.

O controlo de potência permite ao Operador não apenas compensar a distância entre a MS e a BTS como igualmente permite que se faça o ajuste de potência de emissão da BTS ou da MS consoante seja necessário. Quanto mais perto a MS estiver da BTS, menos potência é necessária. Esta característica permite poupar bateria à MS, mas também contribui para reduzir a interferência co-canal e a interferência de canal adjacente.

3.3 MEDIDAS MS

Os campos referentes ao canal descendente são descritos em seguida:

- **LISTA DAS CÉLULAS VIZINHAS, BA_USED (*BA 1*)**

A MS após completar a selecção da célula de serviço, inicia o processo de busca às frequências das células vizinhas (124 para GSM e 374 para GSM1800), faz medidas do nível de sinal para cada uma das vizinhas, e calcula a média do sinal recebido para cada uma delas. A média é calculada nas últimas cinco medidas para cada uma, em intervalos de 3 a 5 segundos. A MS deve sincronizar e identificar o BCCH das seis melhores vizinhas, o que é determinado pelo nível de sinal destas. A célula é inserida nesta quando a MS descodifica o BCCH e o BSIC. A identificação das seis vizinhas é utilizado para preencher o campo "BCCH_FREQ_NCELL" no RM.

- **DESCONTINUIDADE DE TRANSMISSÃO, DTX_USED (*DTX 1*)**

  Este campo está referenciado nas medidas da BSS.

- **VALIDADE DO RM (*MV y*)**

  Este campo indica se os resultados medidos no canal dedicado são ou não válidos.
  - *Bit*_MEAS_VALID = y $\Rightarrow$ o resultado medido é válido.
  - *Bit*_MEAS_VALID = n $\Rightarrow$ o resultado medido não é válido.

- **NÍVEL DO SINAL, RXLEV_SUB / RXLEV_FULL (*RXL 33/33*)**

Este campo indica a média do nível do sinal no canal descendente da célula servidora. Estas medidas são efectuadas pela MS durante todo o período de medida em todos os TSs existentes. As medidas são mapeadas entre 0 e 63, conforme Tabela 3.1.

- **RXQUAL_SUB_SERV_CELL / RXQUAL_FULL_SERV_CELL (*RXQ 0/0*)**

Este campo indica as Qualidade de Banda e Sinal no canal descendente. Estas medidas são efectuadas pela MS durante todo o período de medida em todos os TSs existentes. As medidas da qualidade de banda e sinal são mapeadas entre 0 e 7, conforme Tabela 3.2 e Tabela 3.3.

- **DISTÂNCIA DA MS, TIMING OFFSET (*REL TA -1/0*)**

Esta mensagem de informação define o atraso no sinal recebido de uma MS com TA nulo, isto é, define com mais precisão a posição da MS quando esta se encontra a uma distância inferior a 500 metros da estação servidora. Este campo é em formato binário de módulo 256.

- **NÚMERO DE CÉLULAS VIZINHAS, NO_NCELLM (*NCELLS 4*)**

Este campo indica o número de células vizinhas em que a MS está a fazer medidas. No máximo a MS reporta 6 células.

- **IDENTIFICAÇÃO DE CÉLULA VIZINHA (*freq/bsic/rxl:*)**

A dimensão deste campo está associada ao número de células vizinhas, este campo encontra-se divido em três partes: a primeira parte, identifica o BCCH das células vizinhas de acordo com a sua numeração na lista "BA_Used"; a segunda, identifica o BSIC de cada célula, e é através deste que a MS identifica as células, sendo constituído pelo "**N**etwork **C**olour **C**ode" (NCC) e "**B**ase Station **C**olour **C**ode" (BCC) (o BSIC tem o tamanho de um octeto e é codificado no canal de sincronização, SCH); a terceira, é a média do nível de sinal no canal descendente das células.

CAPÍTULO 4 – FERRAMENTA DE ANÁLISE

Este capítulo descreve a metodologia para a execução deste projecto de *software* e as suas funcionalidades. São também apresentadas as análises gráficas que se pretendem realizar e o processo de obtenção destas. Nestas análises são descritos os objectivos que se pretendem alcançar e o enquadramento quanto aos ambientes mais comuns para a obtenção dos RMs, e quais os resultados expectáveis. Através de uma análise detalhada detectam-se problemas de equipamento e/ou planeamento, que poderão afectar o desempenho das BTSs e, é claro, afectar o desempenho da rede.

4.1 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

A realização das análises propostas é realizada através de um programa informático, que permite fazer a leitura dos RMs, processamento e apresentação de resultados.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS

A linguagem em que a ferramenta está construída é o *Visual Basic 6.0* por ser de fácil implementação. As grandes vantagens são a facilidade de criar programas executáveis que podem ser usados em qualquer computador, mesmo sem *Visual Basic 6.0* instalado. Adicionalmente havia a questão da gestão de volumes de dados de grande dimensão, e que são processados por forma a permitir a apresentação de resultados. Ao nível de BD optou-se por usar o *Access 2000*, que tem a grande vantagem de permitir a gestão simplificada dos dados. Portanto, a interacção nativa entre estes dois programas permite que se crie uma ferramenta que usa recursos destas duas entidades de forma integrada.

Sob o ponto de funcionamento este processa-se do seguinte modo: quando um ficheiro contendo RMs é aberto, este é carregado para uma BD em *Access 2000*. O processo de carregamento envolve três fases: leitura, despiste de erros e carregamento em BD:

- **Leitura:** o ficheiro é lido de forma sequencial, caracter a caracter, até formar uma palavra. Dado que os RMs obedecem a um formalismo rígido, após a leitura de uma palavra, a ferramenta sabe a que dado se refere e também sabe qual a próxima palavra esperada.
- **Despiste de erros:** é possível que os ficheiros amostra contenham erros de transmissão. Para estas situações, dado que o volume de RM por amostra é elevado, e que o volume de erros é baixo, optou-se por eliminar a secção do RM que contém o erro, desde que essa secção se refira às medidas de células adjacentes. No caso dos erros serem na zona de cabeçalho, ou nas medidas da MS ou ainda nas medidas da BSS, então todo o RM é rejeitado.
- **Carregamento em BD:** Cada palavra lida, após tratamento de erros, é processada, dando lugar ao carregamento das matrizes na BD de forma sequencial por RM. Assim cada entrada da BD contém os elementos referentes a um RM. Esta leitura, processamento e carregamento em BD é relativamente demorado, e para amostras extensas, da ordem de 5000 ou mais RMs, pode demorar cerca de três minutos. No final do processamento dos RMs, a ferramenta dá uma indicação de conclusão, estando então pronta a realizar as análises gráficas disponíveis.

Ao executar o comando de abertura de ficheiro, os dados que são lidos são carregados em BD obedecendo às regras de conversão que estão estipuladas, descritas no Capítulo 3: os valores de nível de sinal são convertidos em guardados em BD sob forma de sinal em dBm; o valor a carregar em BD tem em linha de conta o uso de DTXu; da mesma forma, a Potência da BS e da MS é igualmente convertida para os valores em dBm e o TA é convertido em múltiplos de 500 m.

4.1.2 UTILIZAÇÃO

Ao executar o programa é carregada uma janela principal, que permite diversas operações iniciais na barra do topo da janela, Figura 4.1

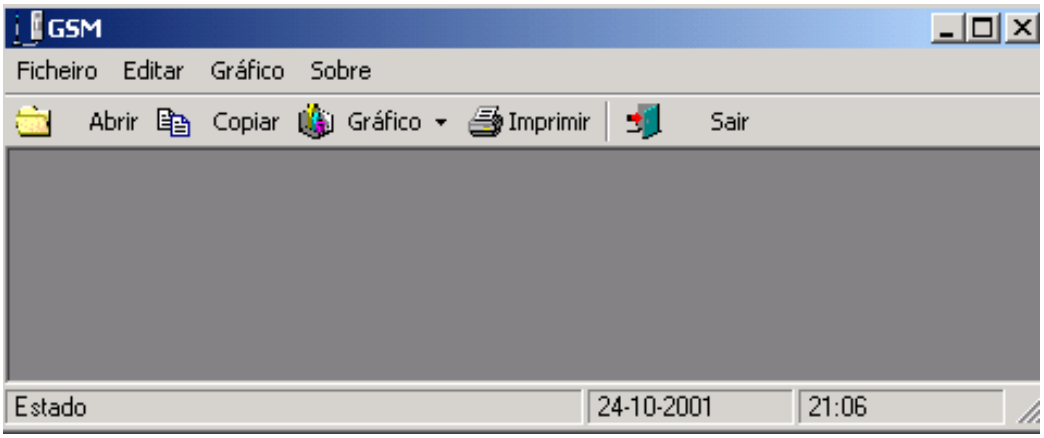

Figura 4.1: Apresentação geral do programa.

Segue-se uma descrição dos vários menus.

- **MENU FICHEIRO**

Trata-se do menu onde se pode seleccionar a transferência de um ficheiro de RMs para a BD, imprimir análises gráficas, ou abandonar o programa, Figura 4.2.

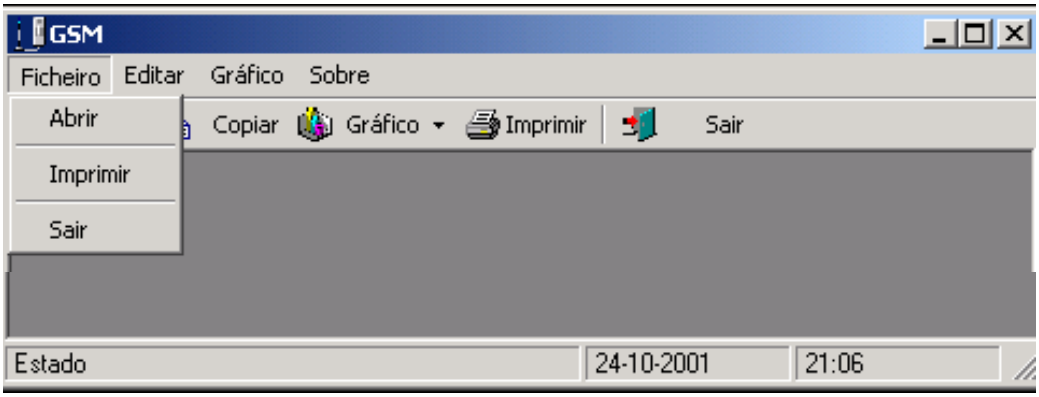

Figura 4.2: Menu Ficheiro.

Ao seleccionar a opção "Abrir", o programa executa três perguntas ao utilizador: se pretende adicionar a amostra às que existem na BD, que se deve ao facto de ser possível, para a mesma célula, adicionar diversas amostras de horas diferentes do dia (só assim é que as análises de "Regime diário do tráfego", "Média / Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário" e "Média / Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária", descritas no Capítulo 4, fazem sentido); a segunda pergunta, "Qual a Potência da Célula [dBm] ?", é necessária para se executar a figura "Potência da célula", visto os transmissores das células terem potências diferentes; a terceira pergunta "Qual o número de canais utilizados para TCHs ?" deve-se ao facto de as amostras serem correspondentes a canais de rádio que podem não ter os 8 TS disponíveis para TCH, como é o caso do canal rádio onde se encontra atribuído ao BCCH, ou ainda outros canais para controlo como por exemplo GPRS.

O formato do nome dos ficheiros das amostras tem de obedecer ao formalismo "Nomedacélula_11-Out-01_18h00_18h10.txt", para que seja correctamente interpretado pela ferramenta.

A opção de "Imprimir" imprime a figura na impressora definida no computador. A opção "Sair" aborta o programa sem, no entanto, esvaziar a BD.

- **MENU EDITAR**

Neste menu está a função de cópia de uma análise gráfica para outra aplicação como por exemplo o *Word* ou *Excel*, em que é passado a figura enquanto figura, ou ainda a tabela de dados que deu origem a este gráfico, Figura 4.3.

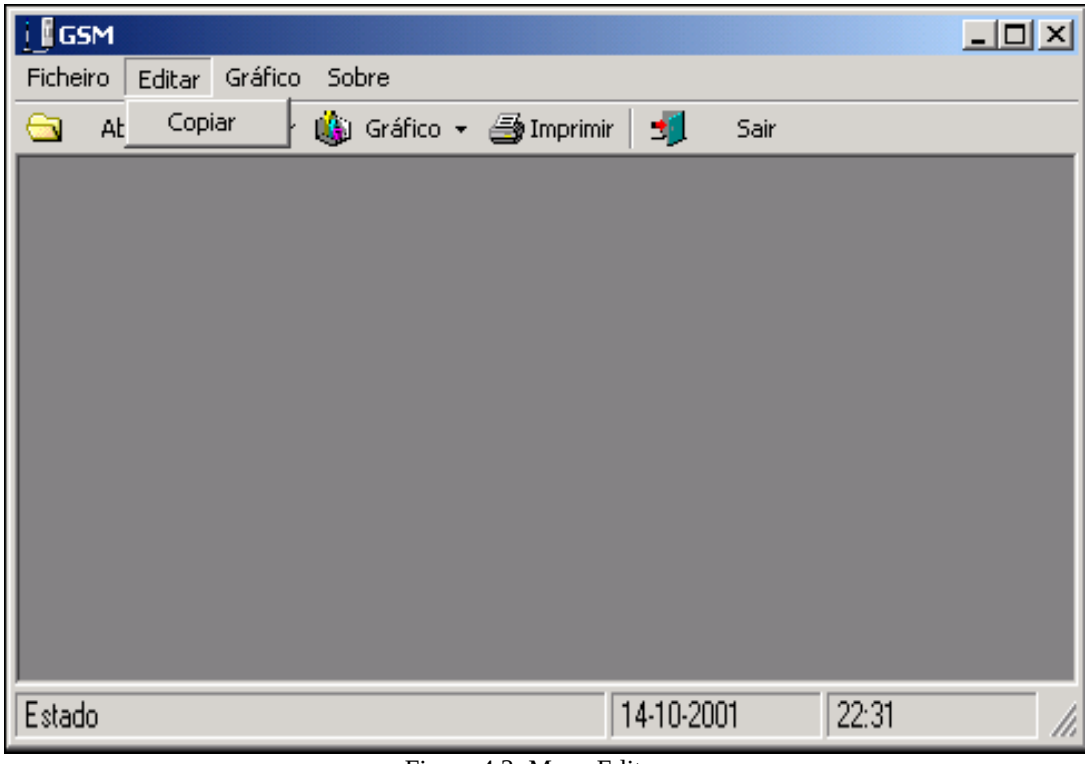

Figura 4.3: Menu Editar.

Quando o utilizador decide copiar uma análise gráfica para outra aplicação, a opção de *Paste* faz a colagem da tabela de dados que deu origem à figura que está a ser visualizado. Para efectuar a "colagem" da figura utiliza-se a função *Edit*, seguida de *Paste Special* e de *Device independent Bitmap*, Figura 4.4.

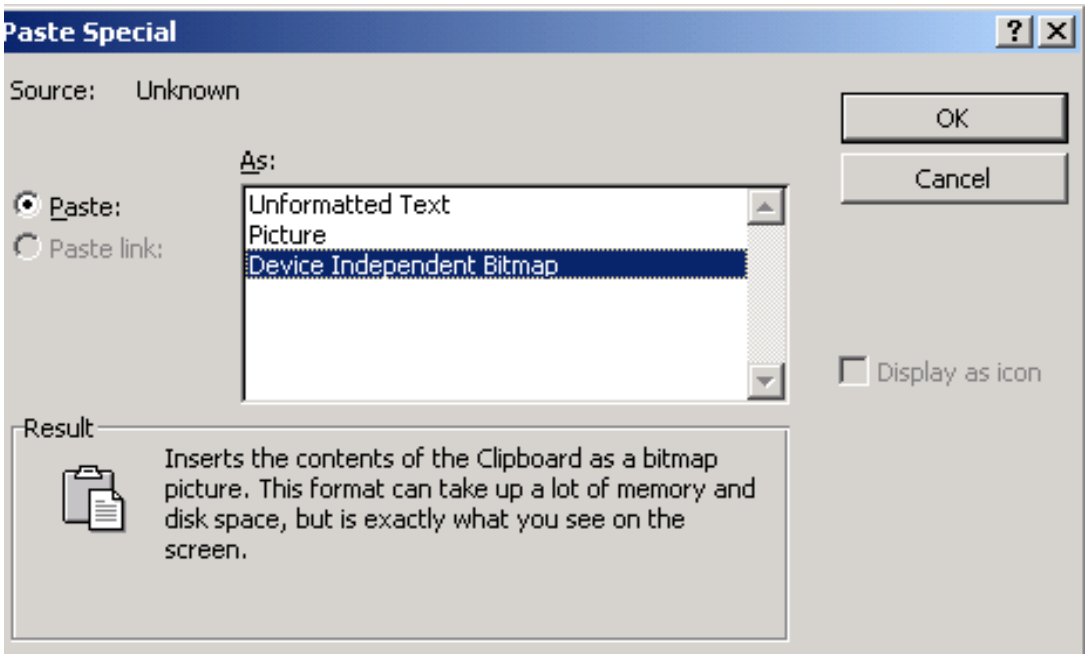

Figura 4.4: Menu Colar Especial.

- **MENU GRÁFICO**

Este menu contém os diversos tipos de análises gráficas que é possível efectuar, Figura 4.5.

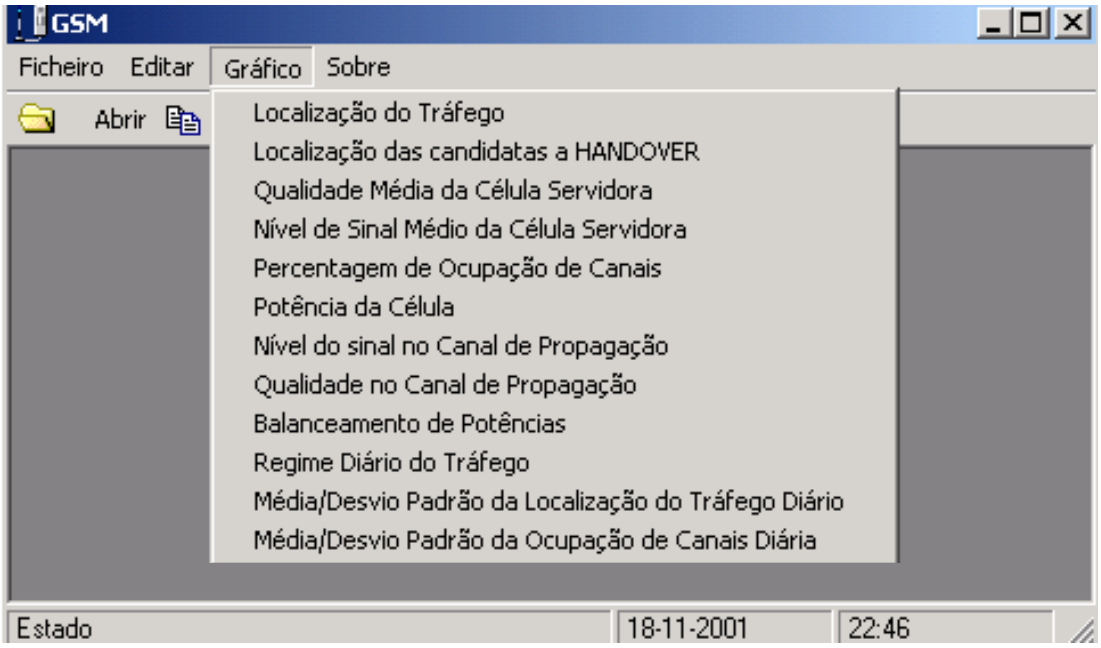

Figura 4.5: Menu Gráfico.

Cada uma destas análises é construída de acordo com a descrição que se segue no capítulo. No caso de estarem carregadas várias amostras para a mesma célula, ao seleccionar uma análise gráfica, a ferramenta pede para seleccionar a amostra pretendida, Figura 4.6. Isto só não acontece quando se pretende obter o "Regime diário do tráfego", "Média / Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário" e "Média / Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária".

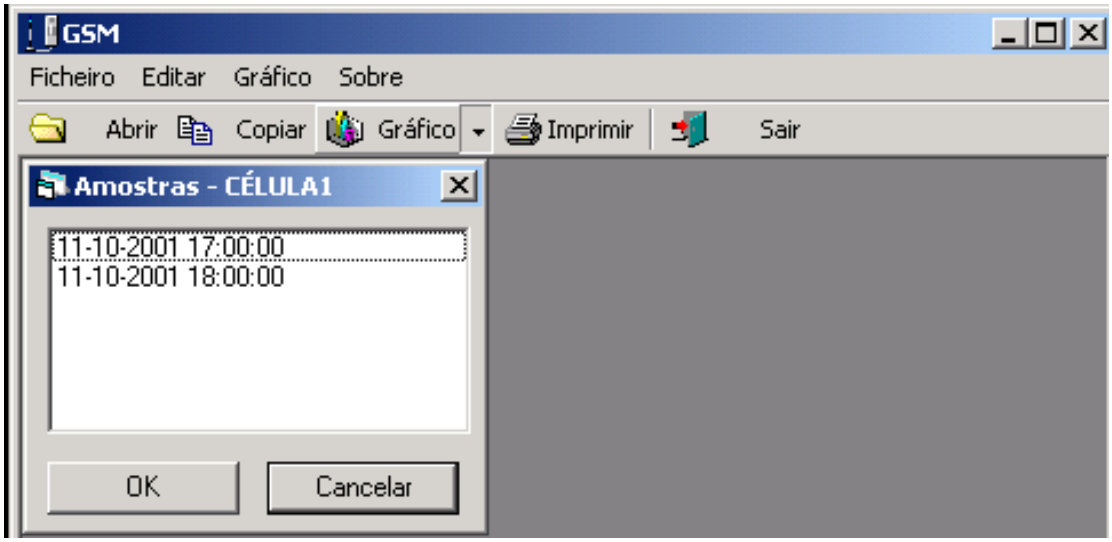

Figura 4.6: Várias amostras da mesma célula.

- **MENU SOBRE**

Faz a apresentação do trabalho, dos seus autores e professor orientador, Figura 4.7.

Na forma de ícones, igualmente na barra do topo da janela, existe uma réplica das funções mais usuais, como abrir uma amostra, copiar para outra aplicação, seleccionar análise gráfica, imprimir e sair do programa.

Figura 4.7: Menu Sobre.

4.1.3 ANÁLISES GRÁFICAS

A apresentação das análises gráficas é gerida automaticamente pelo próprio programa, ou seja, os gráficos são mostrados automaticamente sempre com a mesma dimensão e com as escalas necessárias nos eixos para a percepção correcta. No entanto é possível variar a dimensão dos gráficos e neste caso as escalas adaptar-se-ão automaticamente, Figura 4.8.

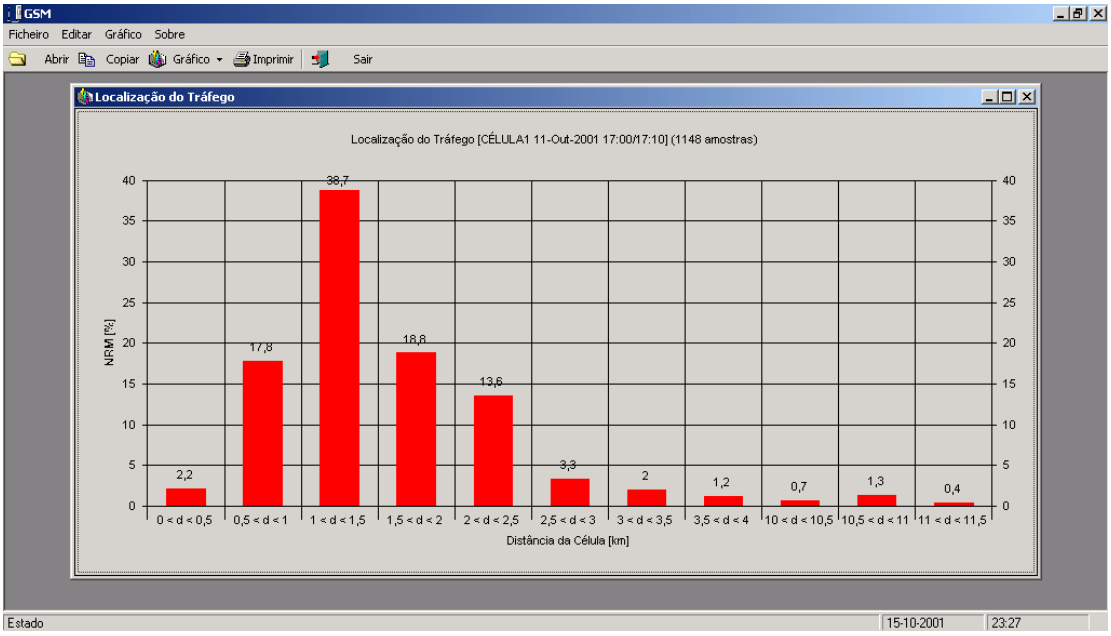

Figura 4.8: Apresentação dos gráficos.

É possível gerir simultaneamente um número ilimitado de gráficos sem perturbar o funcionamento do programa, cabendo ao utilizador a sua movimentação e redimensionamento de forma a melhorar o seu visionamento. É possível deslocar os gráficos para fora do monitor.

Nos casos das análises gráficas em que o eixo das abcissas está em função de TA, optou-se por fazer a substituição directa pela sua representação em quilómetros; assim, para o utilizador existe a percepção directa do intervalo de distância a que a medida se refere (por exemplo, 1,5<d<2 [km] para TA igual 3).

Quando as representações gráficas se referem a percentagens de incidência de uma parcela em relação ao total de amostras, a representação é feita sob forma de gráfico de barras, já que as amostras são discretas. Adicionalmente, é colocado no cabeçalho da figura, para além da identificação da amostra em análise, o número total de NRMs a que a figura se refere, e em alguns casos a média e o desvio padrão das amostras.

Nas análises de "Regime diário do tráfego", "Média / Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário" e "Média / Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária" não existe, propositadamente, protecção contra o carregamento de amostras de dias diferentes. Embora o objectivo desta análise seja o de visualizar a evolução do tráfego ao longo de um determinado período do mesmo dia, a não protecção em relação à data das amostras permite, por exemplo, avaliar, dentro do mesma figura as diferenças no tráfego de um dia de semana para um de fim de semana. No entanto está deliberadamente colocada a protecção contra carregamento de amostras, para análise conjunta de estações diferentes, pois não faz sentido.

No caso da análise de "Balanceamento de potências" e "Nível de sinal no canal de propagação", embora as medidas sejam discretas optou-se por fazer a representação por gráfico contínuo, pois a análise é qualitativa e o principal interesse desta análise é o de detectar o valor médio.

Os valores de distância média e desvio padrão são obtidos por uma consulta estruturada à BD para a amostra em análise, $\bar{x}$[9] e σ[9]. O factor de correlação, ρ[9], é calculado através do *Excel*, que avalia a semelhança entre as figuras de "Regime Diário de Tráfego" e "Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária" com a evolução do tráfego obtido pelo módulo estatístico do OMC, no mesmo período temporal.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_n * NRM(x_n)}{\sum NRM(x_n)} \tag{4.1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_n^2 * NRM(x_n)}{\sum NRM(x_n)} - \bar{x}^2} \tag{4.2}$$

$$\rho = \frac{\overline{X * Y} - \bar{X} * \bar{Y}}{\sigma_X * \sigma_Y} \tag{4.3}$$

Esta ferramenta tem como objectivo, tal como explicado no início deste relatório, proporcionar um complemento da análise existente no campo, para poder ser usado ao nível do planeamento celular ou para detectar situações criticas de cobertura ou qualidade de sinal. Esta ferramenta não tem portanto a pretensão de substituir as ferramentas profissionais de análise de campo e de planeamento celular. Como tal, e dado que a ferramenta analisa uma portadora rádio isoladamente das restantes portadoras de uma célula GSM, não é possível calcular o tráfego em Erlang de uma célula. Da mesma forma não é possível calcular o tempo médio de chamada. Por outro lado, as questões relacionadas com a cobertura pontual também não conseguem ser cobertas por esta ferramenta, já que o nível de descrição que é enviado pelos RM é em função do TA, e este refere-se a intervalos de 500 metros.

4.2 TIPO DE RESULTADOS

As análises gráficas obtidas por esta ferramenta são descritas nos parágrafos seguintes.

4.2.1 LOCALIZAÇÃO DO TRÁFEGO

A análise da localização de tráfego é obtida através do total do **N**úmero de **R**elatórios de **M**edida (NMR) discriminados por TA, independentemente do TS a que se referem. A representação é feita mostrando a densidade de probabilidade em percentagem em função de TA.

Para efeitos de cálculo, considera-se para cada TA o valor intermédio equivalente da distância. Por exemplo, para um valor de TA igual a 0, que implica que a MS se encontra entre 0 e 500 m, o valor usado para efeitos de cálculo de média e desvio padrão é o valor médio de 250 m.

Com esta análise é possível averiguar a distribuição espacial do tráfego. Este aspecto será útil para cruzar com os resultados do planeamento teórico, e assim averiguar a validade deste.

Descreve-se em seguida alguns exemplos de resultados:

1. A distribuição típica para uma zona urbana é semelhante à Figura 4.9, em que o tráfego apresenta uma cobertura específica. Neste ambiente o tráfego não se processa com TA muito elevado, devido ao grande número de células existentes para resolver o problema de capacidade, portanto a área de cobertura de uma célula está bastante limitada. Nas células urbanas é necessário ter atenção ao desvanecimento rápido, porque a área é densamente edificada, existindo muitas reflexões de sinal, isto poderá incrementar o TA, e assim podem surgir localizações deturpadas e ainda degradação da qualidade de sinal devido ao multipercurso, mas não existe maneira de contornar este erro.

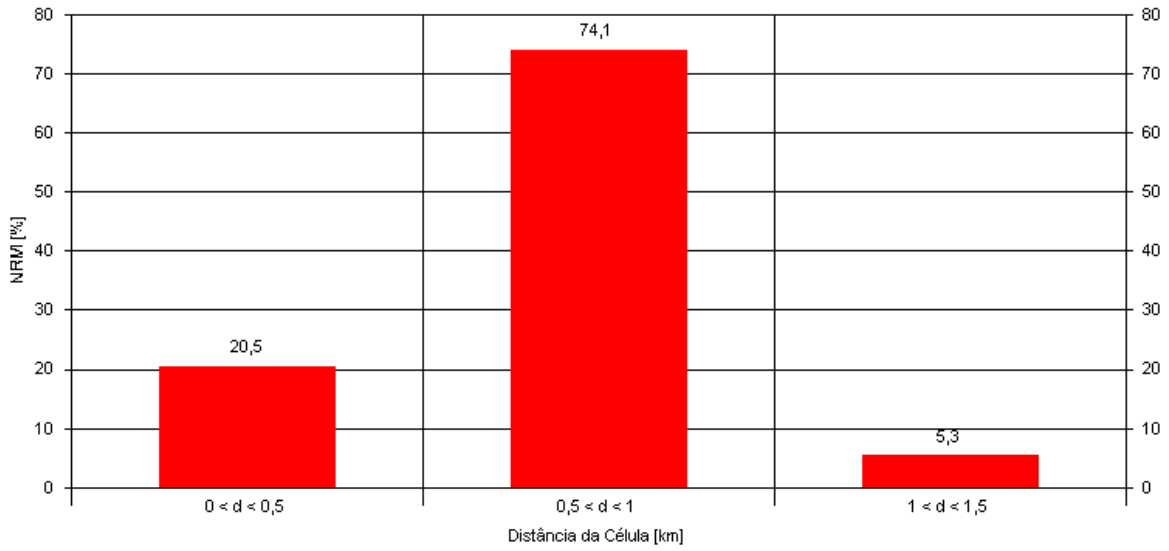

Figura 4.9: Localização do tráfego; resultado típico de zona urbana.

2. Para uma zona urbana pode-se detectar eventuais zonas em que existe tráfego não previsto, de acordo com o planeamento que foi efectuado (por comparação com o plano de cobertura previsto para a BTS em questão). Uma situação anómala representativa deste caso é apresentada no exemplo da Figura 4.10; pretende-se uma cobertura até aos 2,5 km, mas na direcção de propagação encontra-se um rio (em superfícies de água o sinal sofre atenuações baixas), e portanto, o sinal propaga-se através do rio e processa tráfego na outra margem, podendo também processar tráfego de subscritores que estejam em embarcações. Para resolver esta situação é necessário um redimensionamento na área de dominância da célula, em termos de planeamento e parametrização. Os

redimensionamentos numa célula podem ser efectuados quer a nível de planeamento quer ao nível da parametrização. Um redimensionamento de planeamento pode envolver: a escolha de novo local para a BTS, a modificação da altura das antenas, a escolha de novas antenas, a mudança da inclinação das antenas (eléctrica e/ou mecânica) e novo redireccionamento dos sectores. Um redimensionamento de parametrização pode envolver: a limitação de área de cobertura da célula (tráfego e/ou sinalização), e a alteração da potência de emissão dos transreceptores, de níveis de HO e de algoritmo de HO.

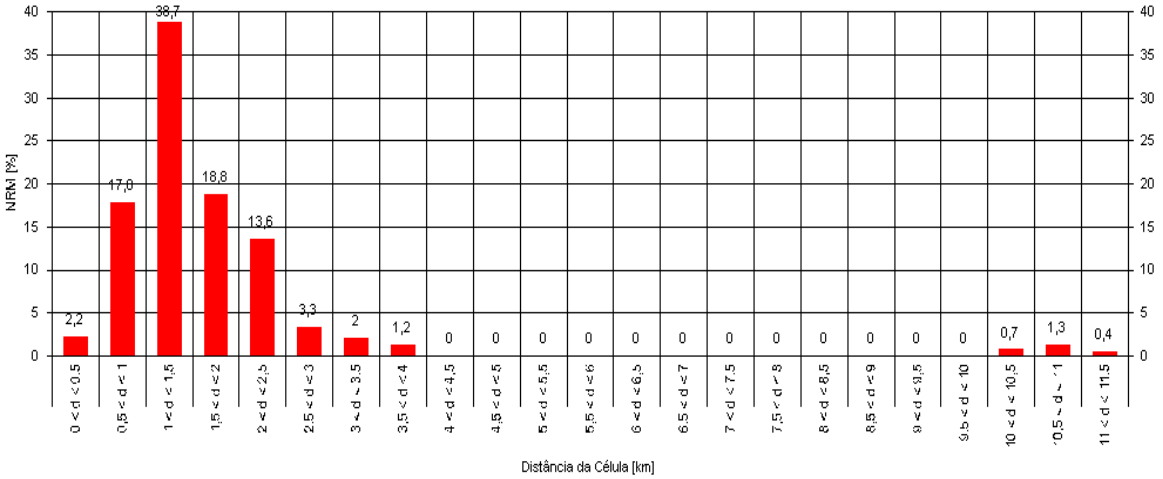

Figura 4.10: Localização do tráfego; situação anómala.

3. Em determinadas zonas pode-se evidenciar áreas em que o tráfego é excepcionalmente elevado, como no exemplo da Figura 4.11. Para esta situação, é de ponderar a instalação de uma micro-célula especifica para a zona em questão, desde que, cruzando com a figura "Ocupação de Canais" da célula se evidencie a existência da ocupação total dos TSs do canal rádio da célula. Outra análise, no caso em que não exista ocupação total dos TSs, é verificar o nível de qualidade nessa zona; caso não apresente os valores desejados, então poder-se-á ponderar a instalação de uma micro-célula para a zona em questão. Finalmente, no caso de não haver total ocupação dos TSs, sendo a qualidade do sinal boa, mas sendo o sinal baixo (nunca inferior a –80 dBm), pode-se recorrer à instalação de um repetidor.

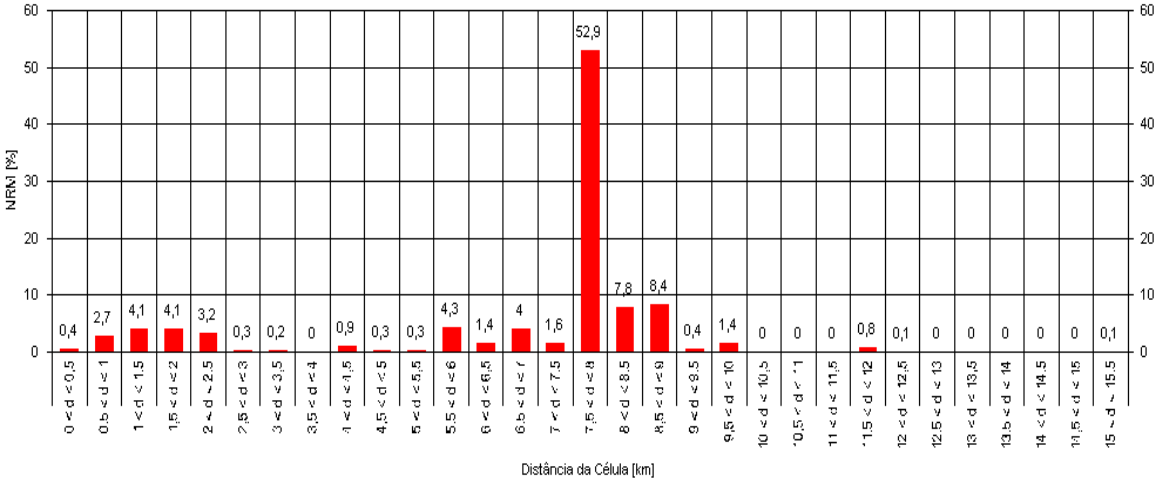

Figura 4.11: Localização do tráfego; identificação dos picos de tráfego.

4. Em zonas rurais, o tráfego pode-se processar apenas a uma determinada distância da BTS, conforme ilustra a Figura 4.12. Esta situação é normal em determinadas condições: numa zona rural opta-se por colocar as BTS em pontos elevados, pois assim as células conseguem grandes coberturas de área, apesar do tráfego estar maioritariamente localizado nas vilas e aldeias. O mesmo se pode passar em zonas urbanas em que a BTS está colocada junto a um rio, portanto com tráfego em ambas as margens.

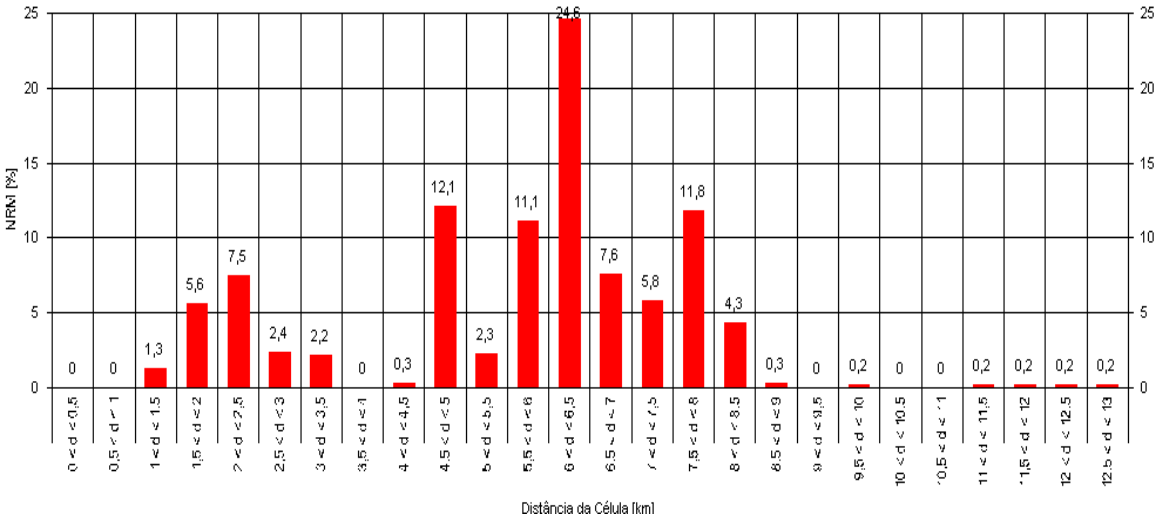

Figura 4.12: Localização do tráfego; tráfego afastado da BTS.

A Figura 4.13 tem como objectivo efectuar uma análise que evidencie a distância média de localização do tráfego ao longo do dia, e assim obter uma estimativa qualitativa da movimentação do tráfego. O gráfico obtém-se através do cálculo da distância média e desvio padrão de todas as amostras respeitantes à célula, o cálculo é efectuado recorrendo à BD. Esta é uma análise útil quando se pretende saber se uma determinada célula está a servir tráfego relativamente constante em termos de distância, ou se ao longo do dia existem variações posicionais das MSs que estão ser servidas por essa célula. Verifica-se através da análise da figura um movimento dos subscritores ao longo do dia, ou seja, detecta-se a migração destes, cerca de 2500 m

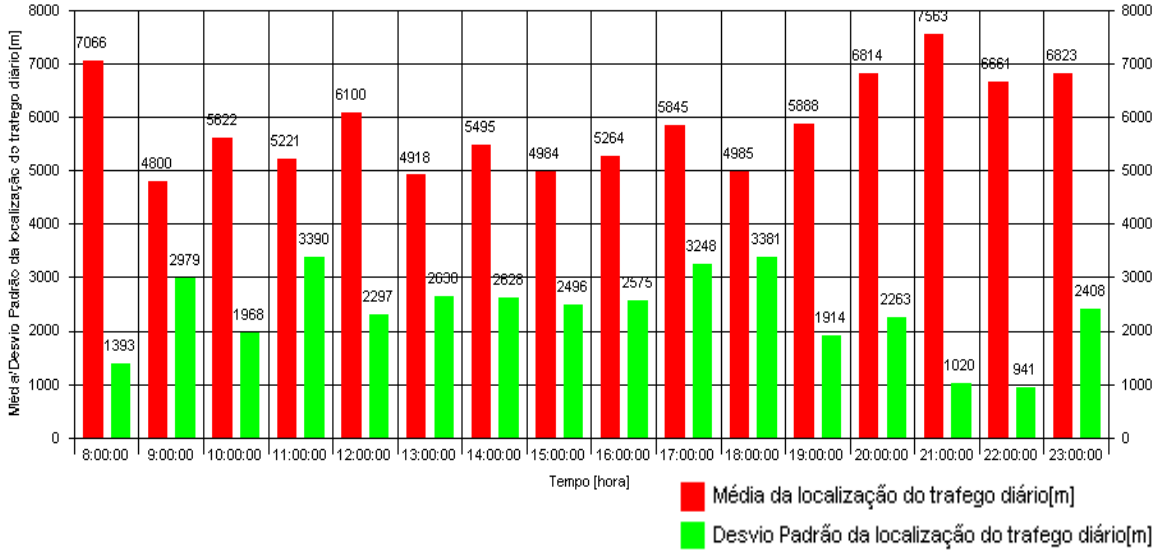

Figura 4.13: Média/desvio padrão da localização do tráfego diário.

4.2.2 REGIME DIÁRIO DO TRÁFEGO

A análise da distribuição do tráfego ao longo do dia ou de determinados períodos do dia, permite ter noção do volume de tráfego que é processado na célula, e é bastante útil para detectar a localização temporal dos picos de tráfego. A respectiva figura é obtida por consulta à BD do valor total de NRM para cada uma das amostras do dia, independentemente do TS a que se referem. Existem variações nos regimes de tráfego em função do mês, dia, hora, ambiente e do tipo de célula, que são muito distintos. A seguir enumeram-se alguns exemplos:

- Célula em zona urbana, com escritórios - o tráfego tem uma redução muito significativa durante o fim de semana.
- Célula em zona urbana de avenidas regulares com transito automóvel e pedestre, assim como uma elevada densidade de escritórios - o tráfego é intenso das 7h30 às 19h00, mas existem três períodos em que o tráfego pode sofrer aumentos (de manhã e de tarde quando os utilizadores chegam e saem dos postos de trabalho, e ainda um terceiro período à hora do almoço).
- Célula em zona urbana de convergência de transportes públicos - o tráfego aumenta nos dois períodos de hora de ponta (de manhã e final da tarde).
- Célula em zona urbana, numa via de acesso à cidade - o tráfego aumenta nos dois períodos de hora de ponta (de manhã e final da tarde).
- Célula em zona urbana de divertimento nocturno com restaurantes - o tráfego tem um pico acentuado no período do início da noite até às 2h00, com especial incidência aos fins de semana.
- Célula em zona suburbana, tipo dormitório - neste caso, durante o dia o tráfego é regular e baixo, aumentando a partir das 19h00 até ás 23h30.
- Célula em zona suburbana, junto a uma via de acesso principal - neste caso existem muitas chamadas de pouca duração.
- Célula em espaço interior de um centro comercial - o tráfego tem fortes variações ao longo do dia (de manhã com a abertura do Centro Comercial, ao almoço devido às pessoas que se deslocam a este para almoçar, assim como à noite devido ao jantar e cinemas); já no caso dos fins de semana o tráfego é de grande intensidade durante todo o dia excepto no período da manhã.
- Célula em zona rural - o tráfego é regular e baixo ao longo de todo o dia, talvez aumentando um pouco ao fim da tarde com a chegada dos utilizadores que estiveram ausentes.

Ao saber-se a evolução de tráfego de um determinado canal rádio de uma célula inserida num determinado ambiente, pode-se tirar conclusões ou detectar situações anómalas para células com as mesmas características. Neste caso calcula-se o factor de correlação para se saber até que ponto o "Regime Diário do Tráfego" é semelhante ao tráfego processado na célula (gráfico do modulo estatístico do OMC). O factor de correlação, expressão (4.3), avalia a semelhança entre a evolução de duas curvas, podendo as curvas ser representativas de variáveis diferentes. O factor de correlação varia entre –1 e 1, quando toma o valor 1 significa que as curvas têm uma variação igual.

Um caso ilustrativo é, por exemplo, em zonas tipo ambiente urbano com proximidade de uma via rápida ou auto-estrada, em que será possível constatar a existência de picos de tráfego relativamente acentuados nas horas de ponta, Figura 4.14. Neste caso, ao constatarem-se picos de tráfego muito acentuados, uma análise pormenorizada permitirá saber as zonas onde os picos são gerados, por cruzamento com a gráfico "Localização do Tráfego", assim com a figura "Ocupação de Canais", para avaliar a necessidade de aumento de capacidade da BTS ou colocação de uma micro-célula.

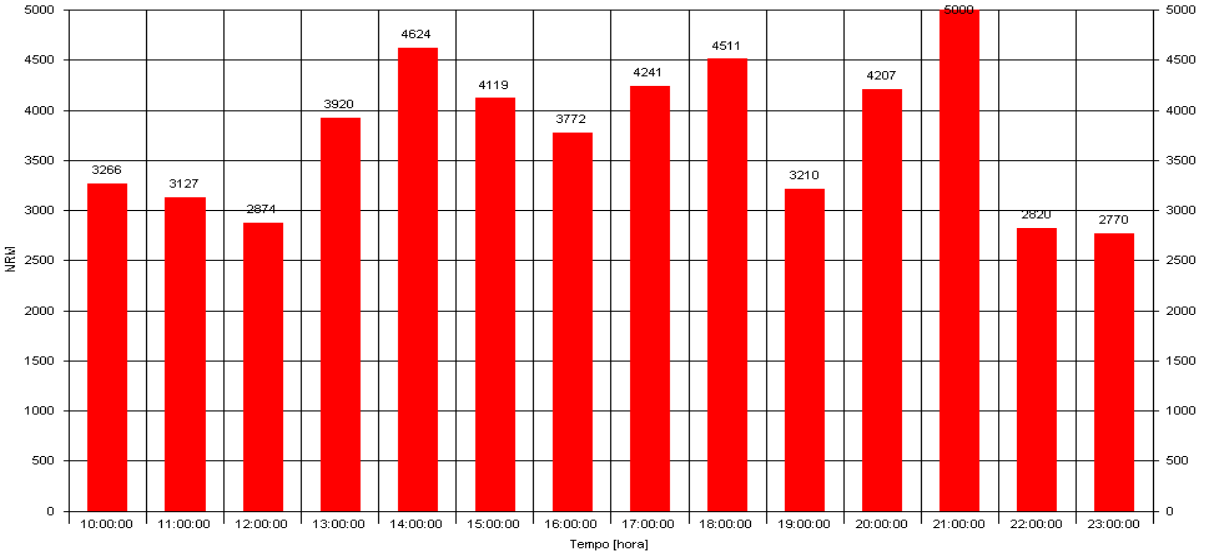

Figura 4.14: Regime diário do tráfego; acessos a zona urbana.

4.2.3 OCUPAÇÃO DE CANAIS

A análise da ocupação dos canais de um canal rádio da BTS é útil, pois permite avaliar o dimensionamento da célula, e avaliar se existem situações em que se justifique o aumento de canais rádio atribuídos à célula.

A forma de obter esta análise é indirecta, ou seja, não existe uma consulta que se possa fazer à BD que permita obter qual a ocupação dos TSs. Como tal, o método indirecto implementado funciona da seguinte forma: à medida que os RMs são carregados para a BD, é processado paralelamente uma rotina em ciclos iguais ao número de TSs atribuídos para TCH que verifica quais os TSs da célula ocupados; no final, a rotina contabiliza a ocupação de TSs e guarda essa informação numa BD auxiliar, e de seguida a rotina é reinicializada. No entanto, esta análise não está isenta de erros, pois podem acontecer duas situações que não é possível discriminar: no caso de existir uma ocupação nula de TSs, como os ciclos são de pelo menos 1 RM, não é possível avaliar os pontos em que a ocupação é nula porque isto significa a ausência de RMs; por outro lado, se a um TS estiver atribuído a um canal de controlo, este poderá ser contabilizado, portanto, é necessária prudência de como estão atribuídos aos TSs do canal rádio em que se retira os RMs.

A análise de ocupação de canais é então obtida fazendo uma consulta à BD auxiliar do numero de RMs que estão contabilizados para cada ocupação de 1 a 8 TSs. Mesmo que a ocupação de canais seja de 8 não significa que haja bloqueio de chamada, o que tem de ser conferido com a figura "*% Blocking*", referenciada no Anexo C, já que esta se refere a todos os canais rádio da célula. É necessário ter também em atenção que através da parametrização pode-se colocar os canais rádio da célula com diversos níveis de prioridade para atribuição de TCHs. Portanto um canal rádio com prioridade máxima pode estar mais vezes congestionado.

Esta análise permite ter uma noção da ocupação da célula, e avaliar se existe congestionamento. No caso de haver bloqueio, na figura auxiliar "*% Blocking*" surgem valores positivos. A figura "*% Blocking*" é obtida directamente do módulo estatístico do OMC, através de um *software* denominado de "Métrica", que é utilizado na TMN.

Esta análise é muito útil na detecção de picos de saturação de tráfego em que o canal rádio não aceita mais chamadas, e se dá uma situação de bloqueio de chamada, Figura 4.15. Semelhante situação indica que é necessário proceder a uma aumento da capacidade da BTS ou, caso o cruzamento com a figura de "Localização do Tráfego", indique a zona onde o bloqueio provavelmente está a acontecer, ponderar a hipótese de colocação de uma micro--célula para cobrir o excesso de tráfego dessa zona. Mas, também é necessário ter em atenção

se não é uma celular interior (condicionada a eventos), ou então se é alguma célula sazonal (exemplo, praias, e a amostra corresponde à época alta).

Pode-se também detectar células em que a sua utilização é fraca, como no exemplo da Figura 4.16. Este caso poder-se-á dever a sobredimensionamento da célula, ou em último caso, devido a uma instalação deficiente ou mesmo de avaria.

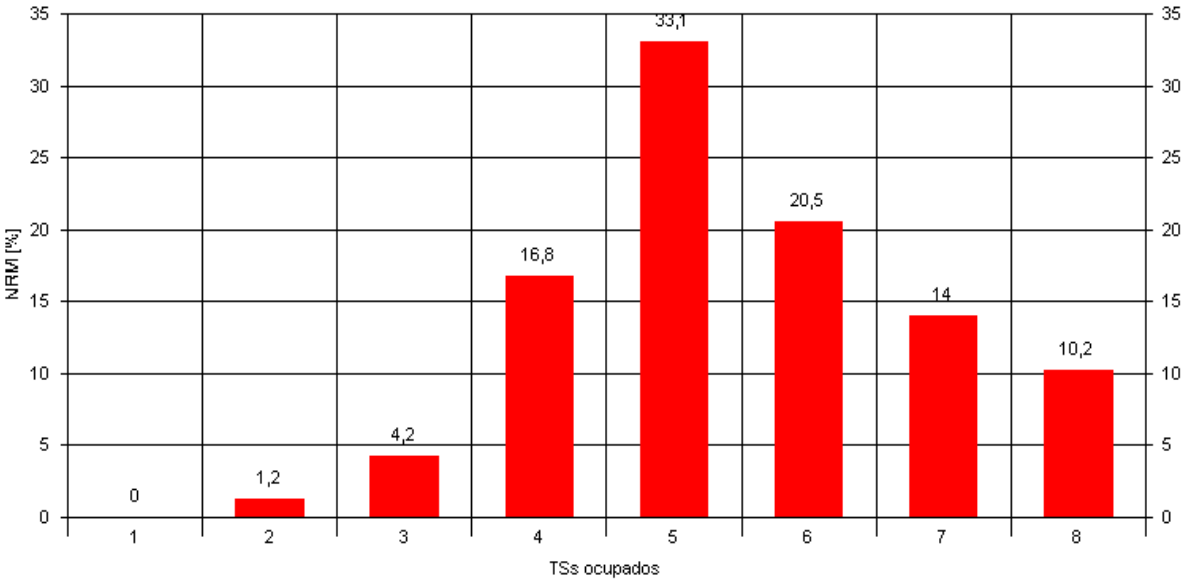

Figura 4.15: Ocupação de canais; saturação de tráfego e bloqueio de chamada.

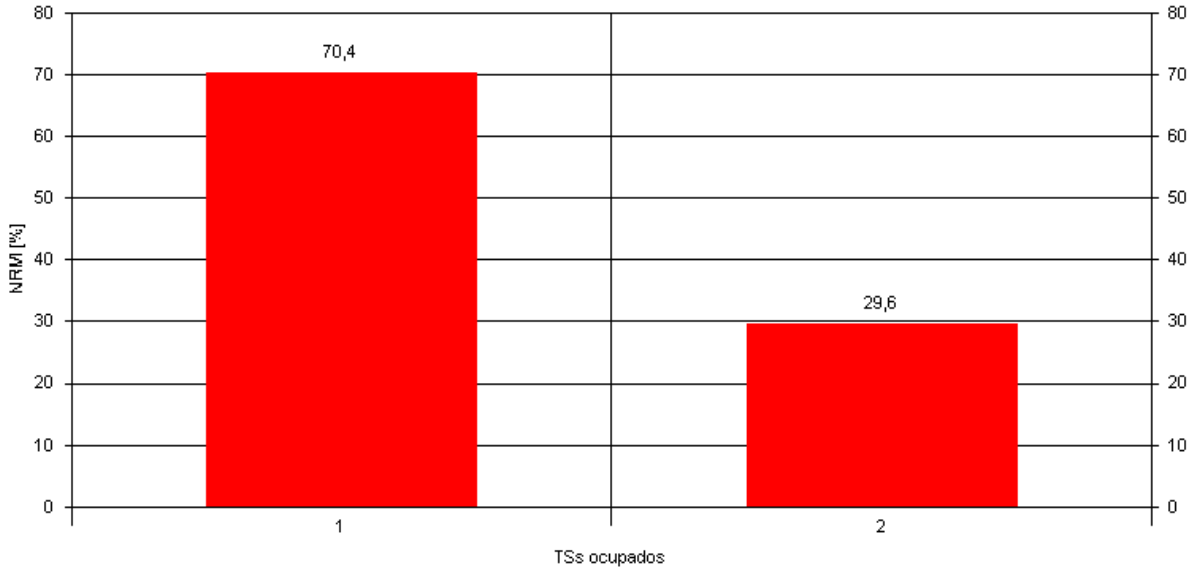

Figura 4.16: Ocupação de canais; tráfego baixo.

A partir da análise anterior é possível obter os valores da ocupação média dos TSs e do desvio padrão. Com essa informação, pode-se construir uma análise que evidencie como é que essa ocupação média evoluí ao longo do dia, e assim obter uma estimativa do tráfego associado ao canal rádio da célula, e verificar se o dimensionamento da célula em canais rádio é o correcto, Figura 4.17.Esta análise é obtida recapitulando a consulta à BD que permite calcular a ocupação média e o desvio padrão na análise de "Ocupação de Canais". É uma análise útil quando se pretende saber se um determinado canal rádio da célula está a ser usado com ou sem bloqueio de chamada ao longo do dia. Nesta figura calcula-se o valor de média e desvio padrão de cada uma das amostras, expressão (4.1) e (4.2), e também é calculado o

factor de correlação, expressão (4.3), com a evolução de tráfego obtido através do modulo estatístico do OMC.

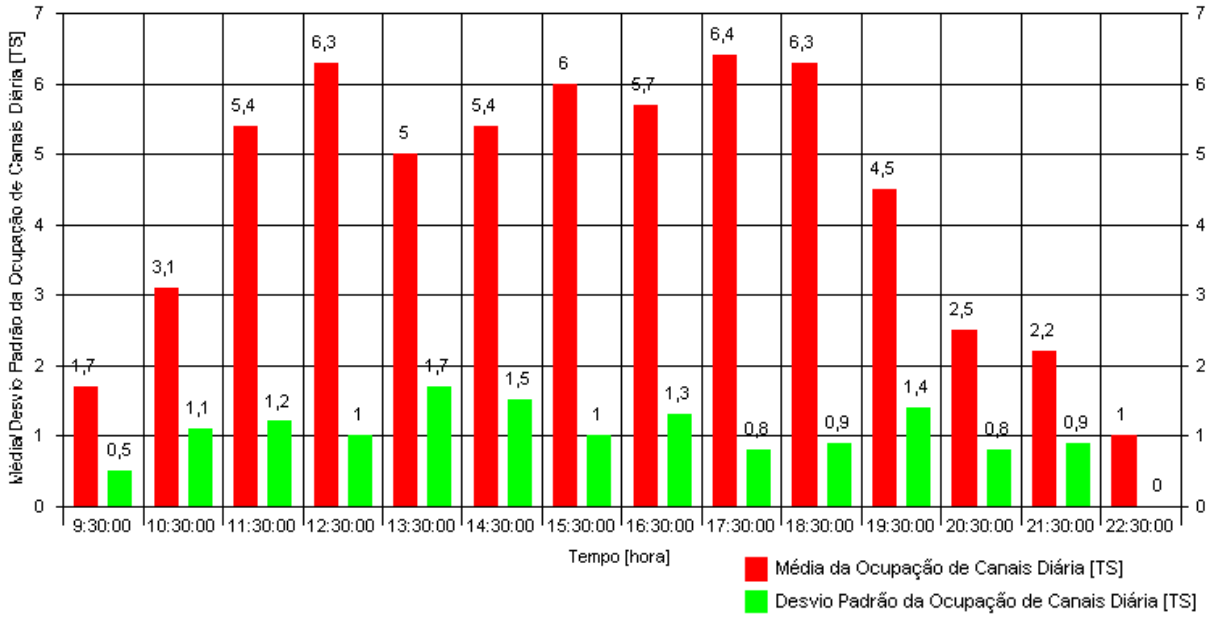

Figura 4.17: Evolução da ocupação de canais diária.

4.2.4 LOCALIZAÇÃO DE CANDIDATAS A HANDOVER

A análise de quais as duas células que apresentam os melhores níveis médios de sinal na ligação descendente, e como tal, são as potenciais candidatas para as MSs realizarem HO por nível de sinal, embora tal dependa dos critérios de HO definidos para a BTS em estudo, é também realizada.

A análise apresenta adicionalmente, para efeitos comparativos, a evolução do nível médio de sinal também em ligação descendente da célula em análise. O nível da célula servidora está representado sem controlo de potência, para ser possível a comparação dos três níveis (servidora mais as duas melhores vizinhas) nas mesmas condições (o nível das vizinhas é o nível do canal BCCH, portanto está sempre a transmitir no máximo sem controlo de potência). De notar que, ao longo da distribuição espacial, as duas BTSs consideradas como as melhores podem não ser sempre as mesmas pela mesma ordem, e assim poderá acontecer que as BTSs sejam diferentes em zonas distintas da figura. Na construção desta figura considera-se que todas as BTSs estão a emitir o mesmo nível de potência, isto é, todas as estações têm a mesma parametrização no que respeita à potência.

A construção desta análise é realizada através de várias consultas separadas à BD na seguinte sequência:

- 1ª consulta: é realizada para obter a listagem, em função da distância (TA), do valor médio de nível (RXLEV) no sentido descendente da célula em análise;
- 2ª consulta: é realizada para obter a listagem, em função da distância (TA), do valor médio de nível (RXLEV) no sentido descendente de todas as células adjacentes para cada TA;
- 3ª consulta: trata-se de uma consulta recursiva à 2ª para seleccionar quais as duas células que apresentam os melhores níveis de sinal em função da distância (TA);
- 4ª consulta: consiste em duas consultas separadas para obter o BSIC de todas as células da 2ª consulta;
- 5ª consulta: cruzamento da 3ª com a 4ª consultas para obter a listagem de BSIC das células seleccionadas como sendo as duas melhores.

A figura, no eixo das abcissas, representa a distância da MS em relação à BTS, e identifica as duas células vizinhas com os melhores níveis médios de sinal. As duas melhores células vizinhas estão identificadas através do BSIC; a melhor está representada a verde (VD) e a segunda está a azul (AZ).

Esta análise é muito útil quando se pretende avaliar qual o nível de sinal com que a célula servidora está a servir as MSs e compará-lo com o sinal das células adjacentes; no exemplo da Figura 4.18 apresenta-se uma situação típica em que perto da célula servidora o sinal da própria servidora é superior ao das adjacentes; no entanto, à medida que as MSs estão mais afastados, o sinal das adjacentes supera o sinal da célula servidora. Se a localização estiver fora do limite previsto no planeamento feito para a célula, esta situação é normal, e indica que os móveis já deveriam ter feito HO por nível de sinal nesta zona. Se adicionalmente, por comparação com a figura de localização do tráfego, se verificar que para essa zona o volume de tráfego é apreciável, evidencia-se, assim, uma situação em que os parâmetros para HO estão demasiado alargados, ou que as células adjacentes não aceitam HO devido a estarem no limite de capacidade, ou ainda que os níveis de qualidade obtidos após se dar o HO são fracos.

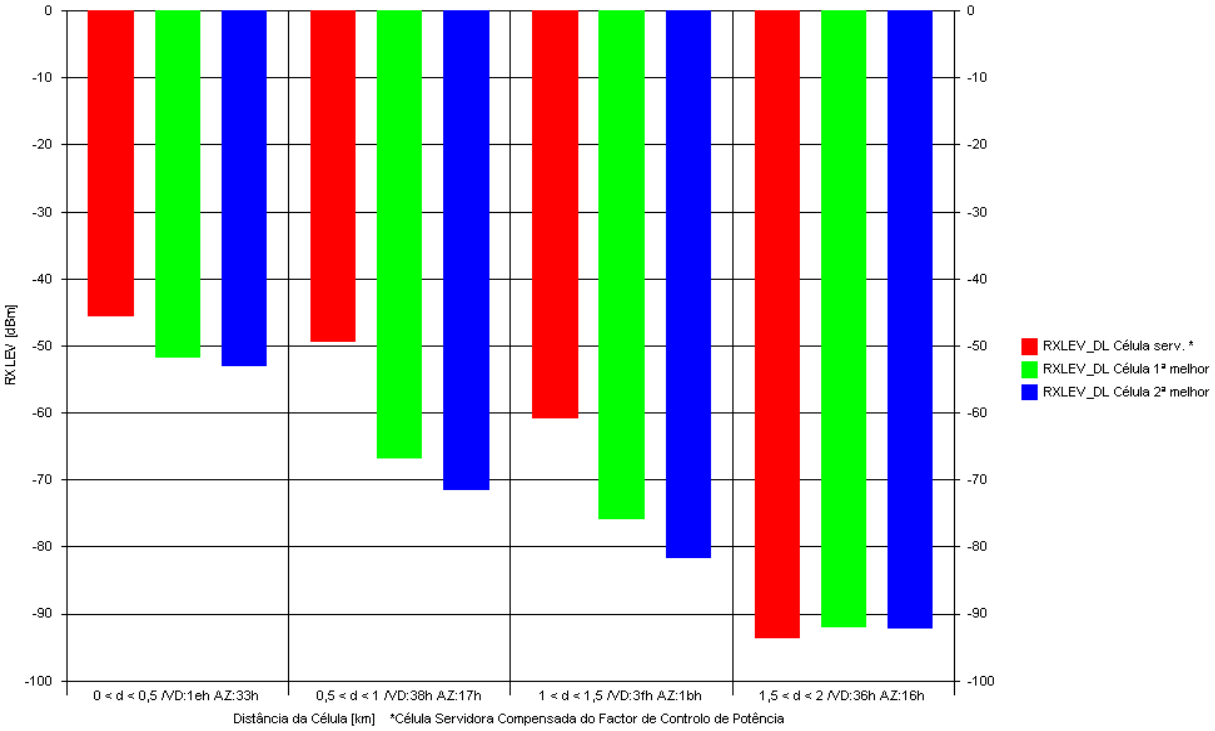

Figura 4.18: Localização de candidatas a HO; degradação do nível de sinal no limite de cobertura da célula.

4.2.5 POTÊNCIA DA CÉLULA E BALANCEAMENTO DE POTÊNCIAS

A distribuição dos valores de potência que a BTS utiliza para a ligação descendente e é obtida fazendo uma consulta à BD do total de NRMs com cada um dos valores de potência admitidos, independentemente do TS a que se referem. Os valores de potência média e de desvio padrão são obtidos por uma consulta estruturada à BD para a amostra em análise. No início, quando se transfere o ficheiro com os RMs obtidos na portadora para a ferramenta, esta questiona o utilizador para saber a potência nominal, Pn, do canal rádio.

Uma situação típica é a do caso de haver dificuldades em estabelecer a ligação, em ambientes urbanos devido, por exemplo, a obstáculos como edifícios, em que se constata igualmente que os valores de qualidade de sinal são baixos, podendo haver uma tendência para valores mais elevados de potência da BS; no limite, isto conduzirá a uma predominância muito grande dos valores de potências elevadas, Figura 4.19. O mesmo exemplo será

considerado normal num ambiente rural, pois neste caso os utilizadores estão normalmente localizados longe da BTS, logo as necessidades de potência são maiores. No caso de a célula não ter controlo de potência, esta análise perde sentido, já que todos os NRMs apresentam o mesmo valor máximo de potência .

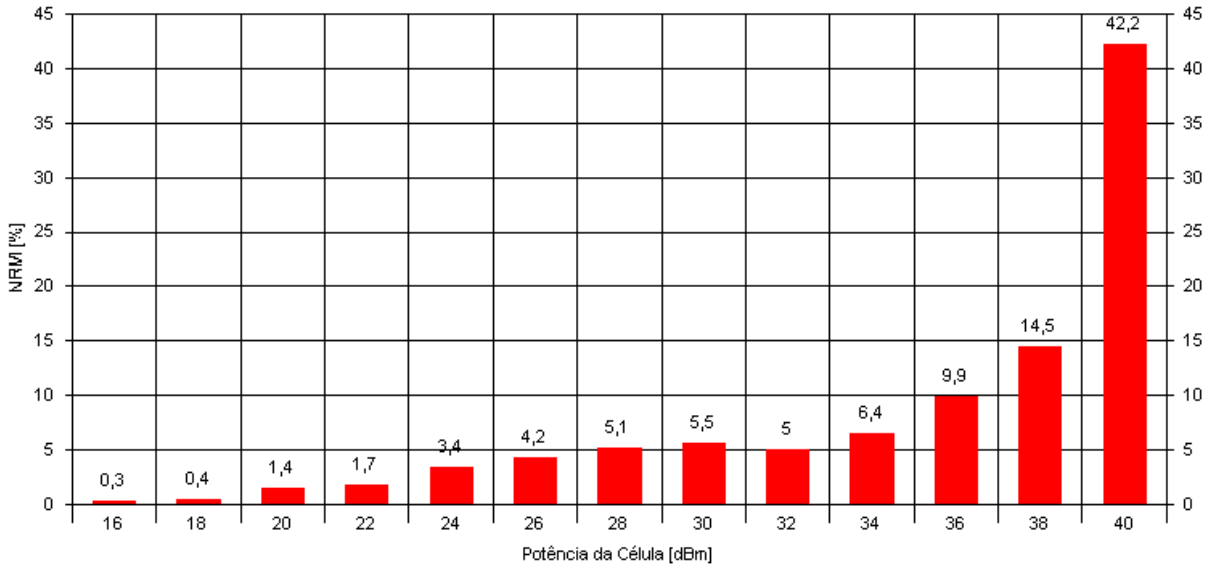

Figura 4.19: Potência da célula; célula com valores tendencialmente elevados.

A comparação da diferença de potências do sinal no sentido ascendente e descendente é um indicador usado para detectar possíveis problemas de rádio frequência, pois a atenuação, é igual nos dois caminhos. A figura é obtida fazendo a subtracção das atenuações existentes no sentido ascendente com as do sentido descendente. A atenuação descendente é o resultado da subtracção da potência emitida pela BTS à potência recebida pela MS; a atenuação ascendente é o resultado da subtracção da potência emitida pela MS pela potência recebida pela BTS.

Os valores de diferença média e de desvio padrão associado, são obtidos por uma consulta estruturada à BD para a amostra em análise. Para a realização desta análise, pressupõe-se que existe controlo de potência das duas estações. Considerando que a frequência do canal ascendente é praticamente igual à do canal descendente, apenas existe uma diferença de 45 MHz, e se desprezarmos este valor, pode-se, em aproximação, afirmar que sendo o percurso o mesmo nos dois sentidos, as perdas de propagação devem ser idênticas em condições normais de funcionamento. Portanto, espera-se que o valor obtido no balanceamento de potências seja zero, como no exemplo da Figura 4.20.

No caso de o nível de sinal no sentido ascendente ser tendencialmente superior ao nível de sinal no sentido descendente, o resultado está centrado à esquerda do zero, e portanto existem problemas de recepção. No caso de o nível de sinal no sentido descendente ser tendencialmente superior ao nível de sinal no sentido ascendente, o resultado está centrado à direita do zero, portanto existem problemas na transmissão. As causas destes problemas podem ser nos módulos de RF da BTS, cabos de recepção e/ou receptor destinado a esta frequência ou ainda o controlo de potência ser pouco eficiente, cabos de antenas e respectivas fichas e inclusive as antenas.

Em determinadas circunstâncias, o sinal descendente tem melhor nível que o ascendente, esta situação acontece para que a MS dentro de um edifício receba o sinal, e portanto o subscritor detecta uma chamada com destino à sua MS; apesar de o subscritor não ter condições de manter a chamada, ele desloca-se para o exterior para efectuar a chamada telefónica.

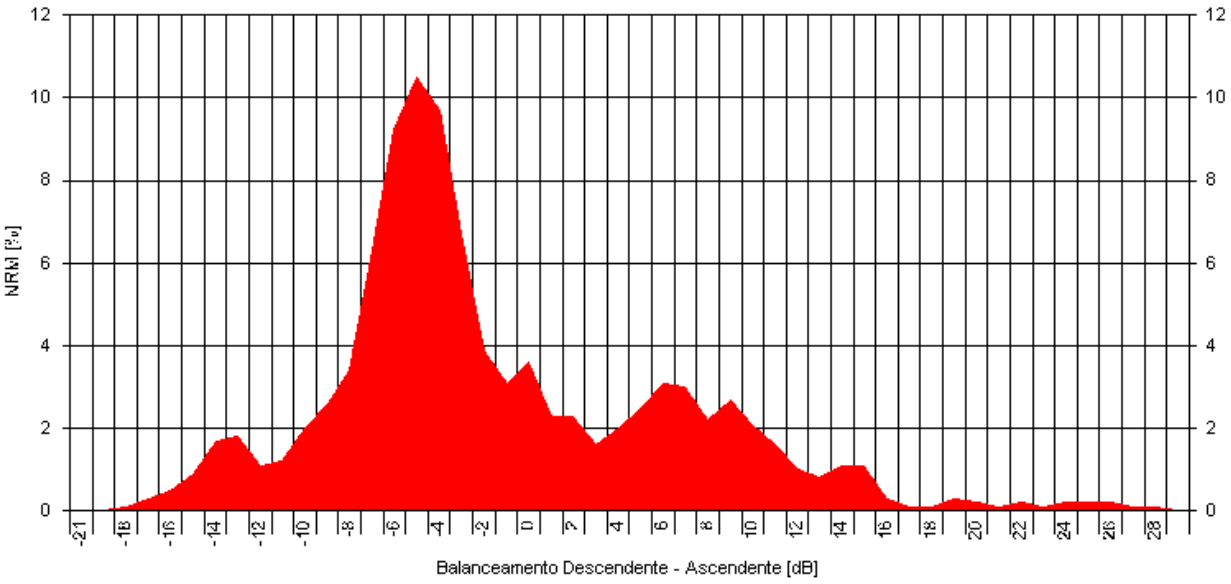

Figura 4.20: Balanceamento de potências; atenuação descendente semelhante à ascendente.

4.2.6 QUALIDADE MÉDIA DA CÉLULA SERVIDORA

A análise da evolução da qualidade média do sinal em ligação ascendente e descendente da célula servidora em função da distância é realizada através de uma consulta à BD, para obter, em função da distância (TA), do valor médio de RXQUAL no sentido ascendente e descendente da célula. Este gráfico, Figura 4.21, é construído colocando, em função da distância no eixo das abcissas, os valores médios de RXQUAL da célula em análise.

Esta análise permite verificar, por comparação com a análise de candidatas a HO, em que medida é que as células adjacentes interferem na qualidade do sinal da célula servidora. Em ambientes urbanos, a MS sofre o efeito de desvanecimento rápido, e por esta razão recebe sinais de multi-percurso provocando dispersão do sinal, e degrada também a qualidade.

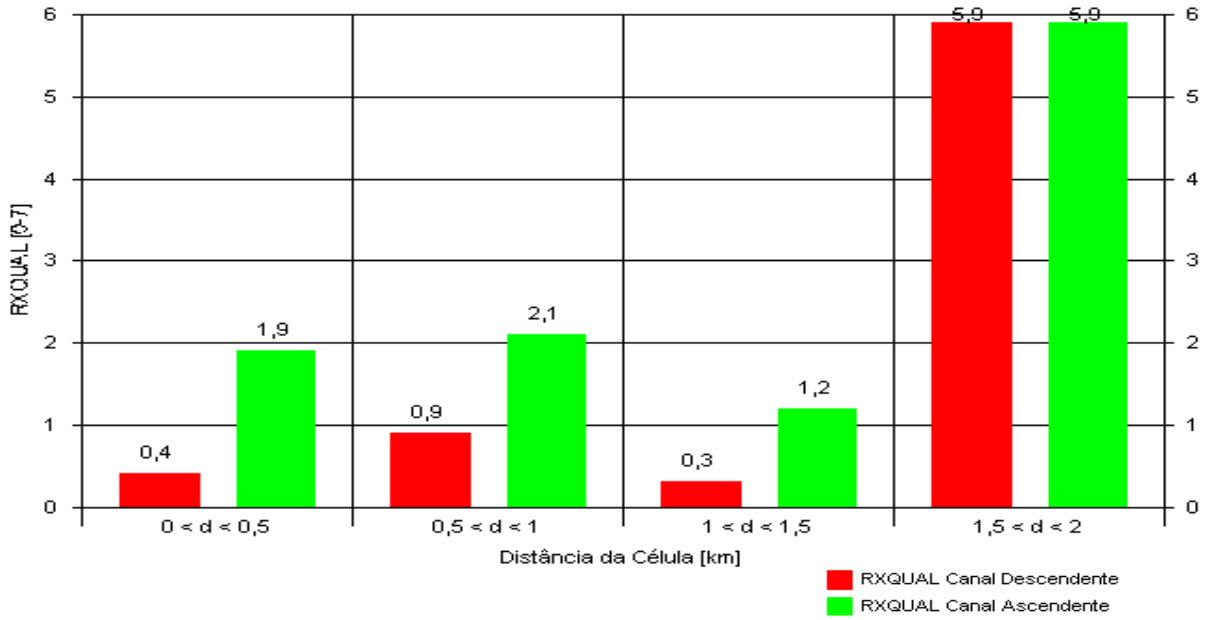

Figura 4.21: Qualidade da célula servidora; degradação da qualidade no limite de cobertura da célula.

A análise da Figura 4.22 permite obter a evolução do nível de sinal médio na ligação ascendente e descendente em função da distância. A construção da figura processa-se por consulta à BD em função da distância (TA), do valor médio de RXLEV no sentido ascendente e descendente da célula.

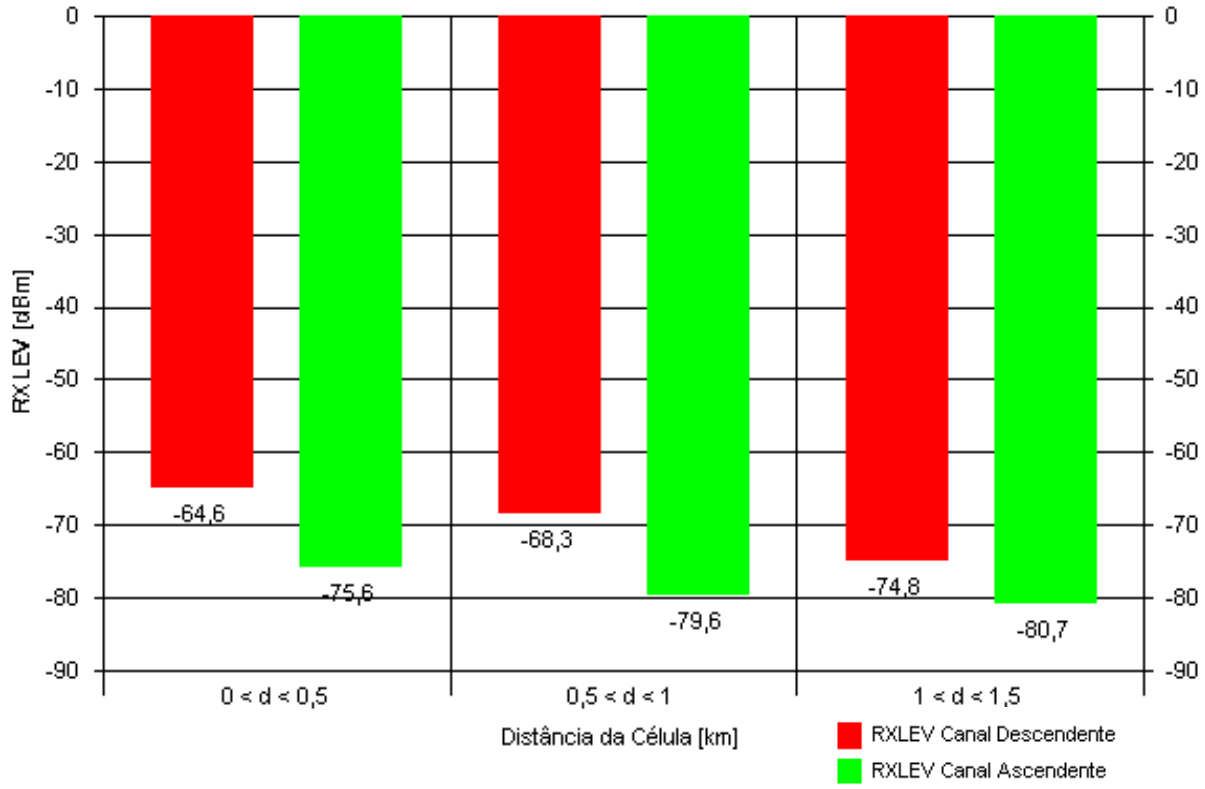

Figura 4.22: Nível de sinal da célula servidora, ligação ascendente e descendente.

A análise deste gráfico permite identificar diferenças de nível muito acentuados do sinal ascendente e descendente. Idealmente os dois sinais deveriam ser iguais, mas os caminhos podem não ser os mesmos, as potências de emissão são diferentes, os ganhos dos receptores são diferentes (no caso da BTS existe um ganho adicional de 3 dB na recepção devido à diversidade espacial) e estas são algumas das razões que provocam diferenças nos níveis de sinal.

4.2.7 QUALIDADE/NÍVEL NO CANAL DE PROPAGAÇÃO

A análise da qualidade do sinal ascendente e descendente no período da amostra em análise e o nível do sinal descendente do mesmo período divide-se em dois gráficos distintos, mas o método de obtenção dos resultados é o mesmo. As figuras são obtidas fazendo uma consulta à BD do total de RMs com cada um dos valores de RXLEV e RXQUAL admitidos, independentemente do TS a que se referem. Os valores de RXLEV e RXQUAL médios e de desvio padrão associados, são obtidos por uma consulta estruturada à BD para a amostra em análise.

A situação que se poderia considerar de ideal, seria boa qualidade e nível de sinal baixo; nesta situação ou o sinal sofre bastante atenuação ou a potência de emissão é baixa, mas não é interferido por fontes externas de ruído, Figura 4.23 e 4.24.

A ligação ascendente é considerada a mais fraca por envolver potências mais fracas e depender das classes das MSs envolvidas. No sinal ascendente, ao contrário do descendente, não é possível detectar a fonte da interferência, uma vez que estas interferências podem resultar de sinais provenientes de outras MS que poderão estar em áreas completamente diferentes e distantes. A interferência é normalmente sentida quando estão envolvidas MSs

que têm como servidoras células com o mesmo BCCH, e em que em algumas delas a MS é obrigada a utilizar potências elevadas. Para evitar este tipo de interferência são adoptados sistemas de transmissão descontinua (DTX no canal ascendente) que têm como função, para além da poupança de bateria da MS, diminuir os tempos de transmissão da MS para assim diminuir a interferência na rede.

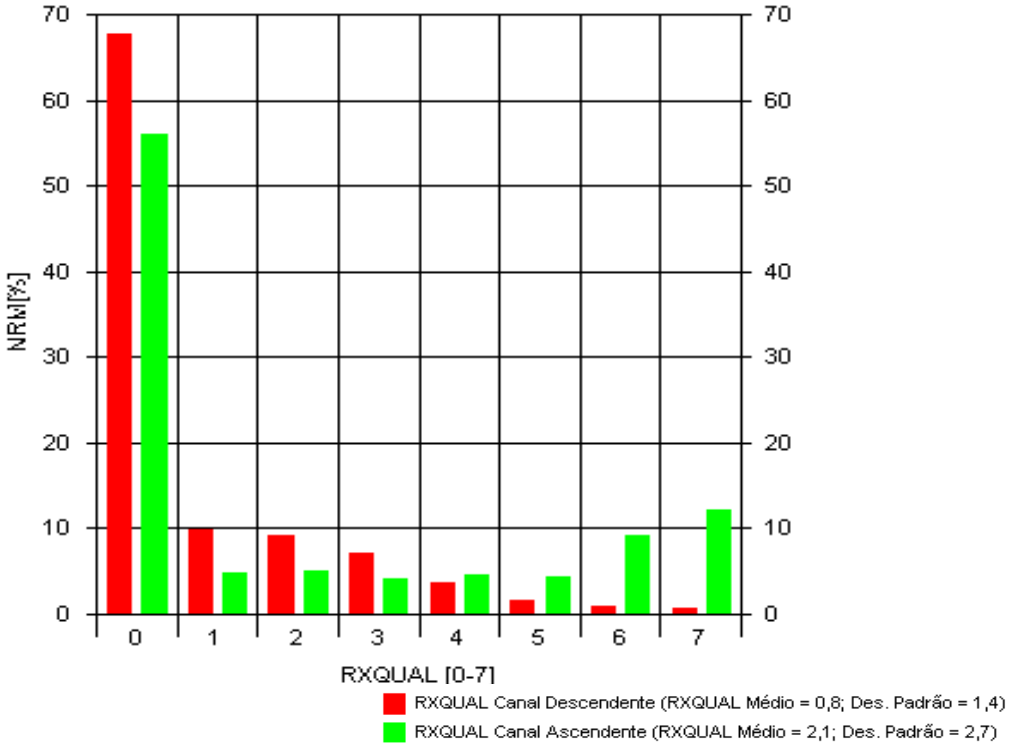

Figura 4.23: Qualidade no canal de propagação; boa qualidade.

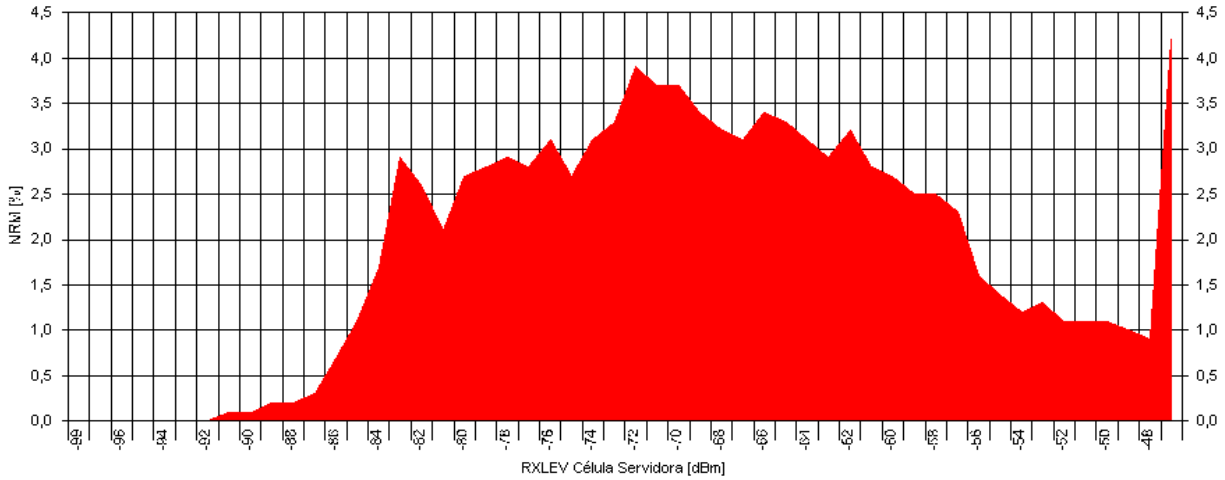

Figura 4.24: Nível no canal de propagação; bom nível de sinal.

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CÉLULAS

Neste capítulo são descritas quais as BTS seleccionadas para análise, e são apresentados os resultados das análises de cada um dos ambientes.

5.1 BTSs SELECCIONADAS

Os ambientes existentes numa rede são bastante diversificados, portanto a escolha foi difícil, mas optou-se por escolher 5 BTSs, que de algum modo são representativas de todas as outras. Adicionalmente, estes ambientes permitem testar a ferramenta de análise que foi construída para a realização deste Trabalho Final de Curso.

Os ambientes escolhidos são todos da área da Grande Lisboa:

- Recta do Cabo, zona rural junto a uma via principal;
- Viaduto Duarte Pacheco, zona urbana de acesso;
- Belém, zona urbana ribeirinha;
- Saldanha, zona urbana no centro;
- Santo António dos Cavaleiros, misto de zona residencial suburbana com vias de acesso a Lisboa.

Em todos estes ambientes, faz-se uma comparação entre a localização de chamadas, obtida pela análise dos RMs, com a área de cobertura prevista pelo planeamento, efectuado quando da implementação da estação.

A duração dos períodos de amostragem é de 10 minutos, e o intervalo entre elas é de 60 minutos. A sugestão de 10 minutos para a amostragem é devido à quantidade de informação que é recolhida. A recolha dos RMs é efectuada no segundo canal rádio de cada célula, porque existe uma probabilidade maior dos 8 TSs estarem definidos como TCHs. Caso se fizesse a recolha no primeiro canal rádio, onde está atribuído ao canal de controlo BCCH, não haveria controlo de potência (a potência de emissão é sempre máxima), e também neste canal rádio existem actualmente outros 3 TSs atribuídos a GPRS, portanto apenas estariam 4 TSs disponíveis para TCHs.

Estes ambientes, devido à sua localização geográfica, possuem características bastante próprias. No que se segue, descreve-se de forma sumária as características de cada um destes ambientes, e as características que se espera do tráfego.

- **Recta do Cabo**

  Esta estação possui duas células que fazem a cobertura desta estrada nacional. A célula em estudo encontra-se colocada sensivelmente a meio da Recta do Cabo e aponta ao longo desta na direcção de Vila Franca de Xira, esperando-se que efectue tráfego ao longo da recta até à margem sul do rio Tejo.

- **Viaduto Duarte Pacheco**

  Nesta estação pretende-se estudar as três células, porque estas apresentam características diferentes, quer de processamento quer do tipo de utilizadores. A primeira célula faz a cobertura do Viaduto Duarte Pacheco, onde se espera que de manhã e à tarde exista um grande processamento de chamadas que estas se efectuem sem grandes variações de TA (a situação inversa é expectável fora deste período). A segunda célula faz a cobertura do Bairro das Amoreiras: durante o dia esperam-se chamadas de pequena duração, e no fim do dia, com o regresso a casa dos utilizadores, espera-se um aumento significativo no processamento de chamadas, e também grande imobilização destas devido a congestionamento rodoviário. A terceira célula faz a cobertura do Bairro de Campo Ourique, que é um misto de uma zona residencial com uma zona de escritórios.

- **Belém**

  Esta estação devido à sua localização geográfica, e também devido à sua cota, possui características de tráfego muito peculiares. A segunda célula desta estação tem tráfego na zona da Doca de Santos, na margem sul do rio Tejo (terminal dos cacilheiros e restaurantes ribeirinhos), dos utilizadores que estão a atravessar o rio de cacilheiro e na ponte 25 de Abril. Portanto, a "Localização do Tráfego" será muito interessante de estudar.

- **Saldanha**

  Nesta estação pretende-se estudar apenas uma célula, porque a estação está inserida numa zona homogénea, em termos de tráfego e de características dos utilizadores. O objectivo da escolha desta estação é o de verificar a evolução do tráfego ao longo do dia, assim como averiguar a possibilidade de ocorrência de bloqueio de chamada. Dado que esta estação está inserida numa zona com uma densidade elevada de estações circundantes, será interessante avaliar qual o impacto que existirá nos níveis de qualidade de sinal.

- **Santo António dos Cavaleiros**

  Esta estação está inserida numa zona limítrofe de Lisboa, e a sua cota é elevada em linha de vista com Santo António dos Cavaleiros e CRIL. A evolução do tráfego ao longo do dia será um estudo interessante, porque haverão flutuações no início e ao fim do dia; durante a noite o tráfego processado é muito idêntico, devido à zona englobar bairros densamente povoados.

Nas análises gráficas têm-se em consideração alguns pressupostos de modo a eliminar alguns dados não representativos. Estes são:

- Nos 10 minutos de duração de cada ficheiro, o número máximo de NRMs é aproximadamente de 5500, optando-se por desprezar o tráfego inferior a 2% (± 105 RMs) na figura "Localização do Tráfego", isto é, uma atribuição de TS de ±50 segundos. Seria de considerar 50 segundos se fossem apenas de uma chamada (segundo o ICP, o tempo médio de chamada é de 90 segundos, 25 mErl), mas não existem elementos que garantam que se está perante uma única chamada;
- A análise através da ferramenta "Métrica" é referente a uma célula, enquanto que a ferramenta desenvolvida representa análises sobre um canal rádio da célula.

Nas primeiras horas do dia o volume de tráfego é baixo, portanto é nestas horas que os Operadores procedem à restruturação da rede, instalação de *software* ou a manutenções em que seja necessário desligar equipamentos, sempre com objectivo de atenuar o impacto junto aos subscritores.

5.2 ESTUDO DA CÉLULA "RECTA DO CABO"

No caso da célula "Recta do Cabo", o tráfego localiza-se, de forma regular, na margem norte do rio Tejo, num leque de cerca de 2,5 km, Figura 5.1 e Figura C.2, embora exista igualmente tráfego a processar-se na zona da estrada nacional. O desvio padrão da amostra para a "Localização Média do Tráfego" é bastante elevada, na amostra das 11h00, 3390 m para a média de localização de 5221 m, o que indica uma grande variação da localização do tráfego.

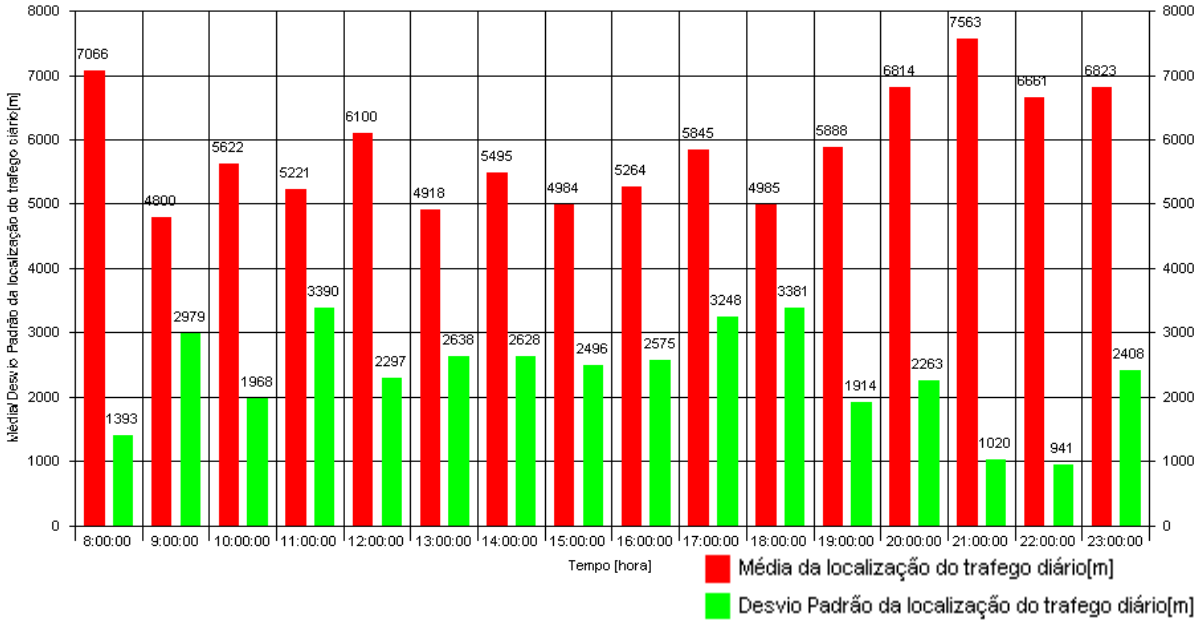

Figura 5.1: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Recta do Cabo, 10Out'01.

Por curiosidade, através da Figura D.1 e outras semelhantes retiradas de outras amostras, verifica-se perfeitamente a existência do rio, com uma largura aproximada de 2 km. Poder-se-á questionar pelo tráfego existente sobre a Ponte de Vila Franca. Este tráfego é processado por outras BTSs que oferecem ao subscritor melhores níveis de sinal.

O regime de tráfego diário obtido neste canal rádio, Figura 5.2, é razoavelmente semelhante ao obtido na célula, Figura C.3, sendo o factor de correlação de 0,49. O tráfego tem uma evolução em dois picos, às 14h00 e às 21h00, embora relativamente pouco acentuados.

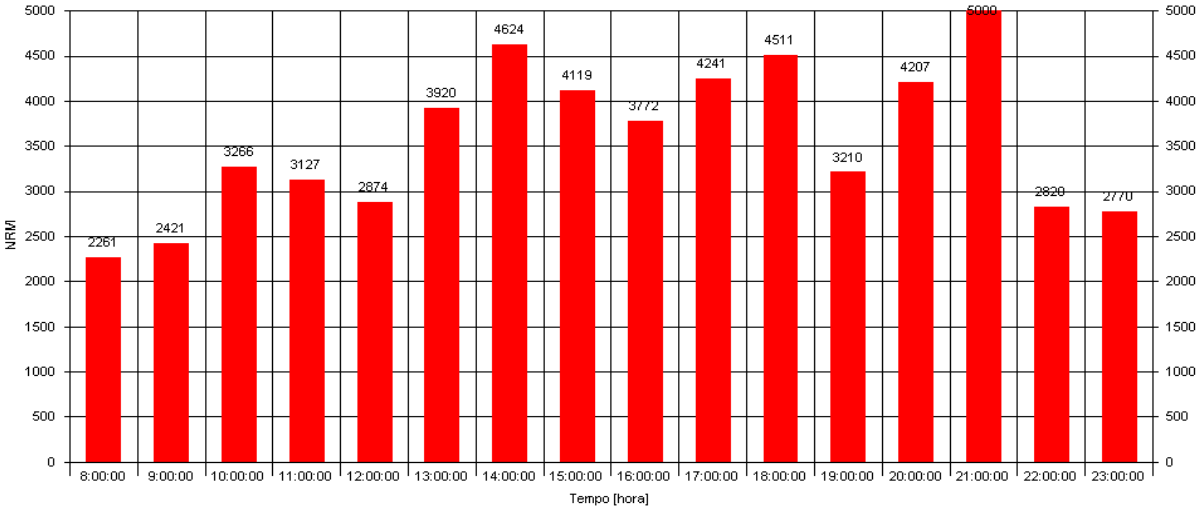

Figura 5.2: Regime Diário do Tráfego, Recta do Cabo, 10Out'01, 57143 amostras.

Fazendo a análise da Figura D.1, D.2 e D.3, verifica-se que nas duas zonas onde o tráfego está mais localizado existe boa qualidade de sinal, RXQUAL, e o nível diminui em função da distância. Portanto, verifica-se que nestas zonas existe um sinal dominante com baixo nível, os subscritores sofrem com as interferências existentes, e HO não se processa correctamente, Figura C.3 "*% Dropped Calls*". Como a ocupação média máxima de canais é 4,8, Figura 5.3, sugere-se a colocação de um repetidor (esta análise tem de ser mais

pormenorizada para identificar, caso exista, uma concentração de subscritores; porque os repetidores são utilizados para áreas pequenas).

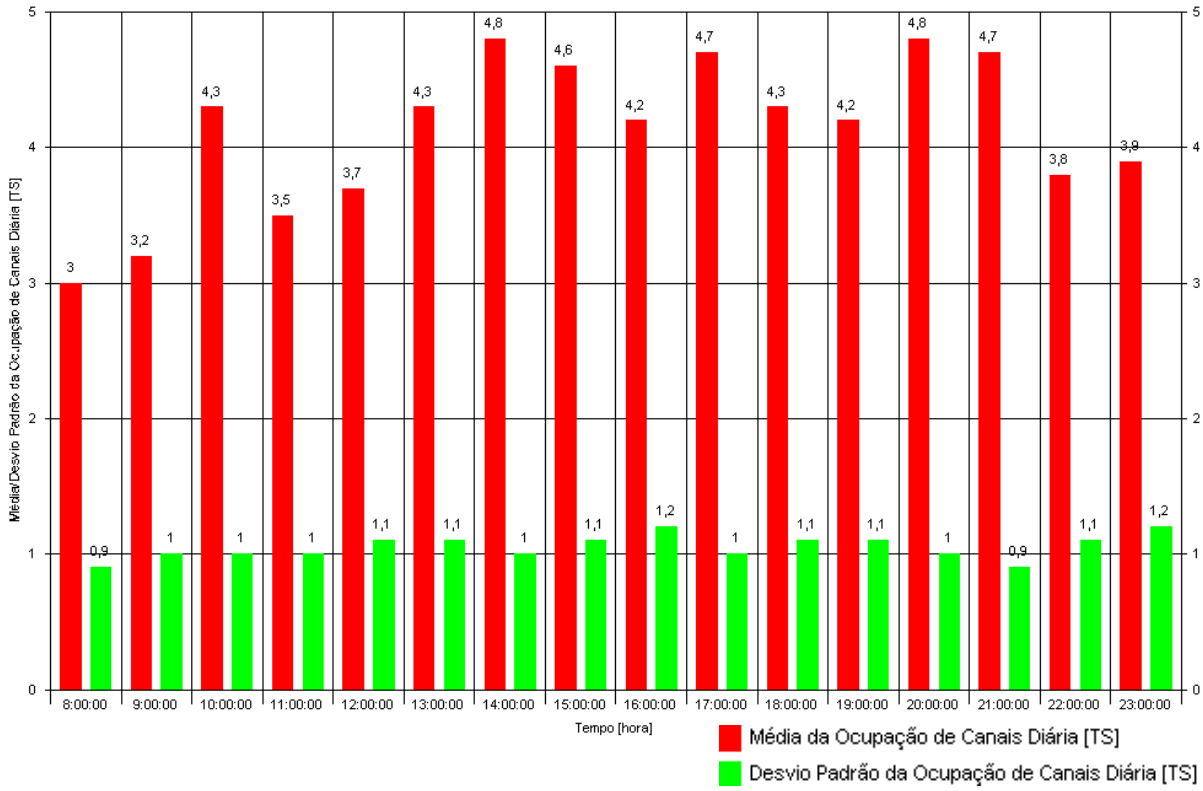

Figura 5.3: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Recta do Cabo, 10Out'01.

O factor de correlação da Figura 5.3 com a Figura C.3 é 0,54. Verifica-se que a média máxima de canais ocupados é de 5, portanto está de acordo com a Figura C.3 "*% Blocking*".

Ao analisar-se as Figuras D.3, D.4 e D.8 verifica-se que alguns subscritores usufruem de um sinal inferior a –80 dBm, mas com boa qualidade, Figura D.9. Portanto, existe necessidade de oferecer um sinal com melhores níveis, quer seja com instalação de equipamento quer com redimensionamento da célula. A qualidade do canal descendente é superior à do canal ascendente, Figura D.2 e D.9, situação que é perfeitamente normal porque a potência de emissão da BTS é bastante superior à da MS.

Pela análise das Figuras D.3, D.5 e D.6, verifica-se que a célula servidora possui melhores níveis de sinal em relação às células vizinhas, portanto não existe necessidade de efectuar-se HO, porque a qualidade e nível são bons, Figura D.2. Pode-se também observar que as duas melhores células vizinhas praticamente se mantêm constantes ao longo de todas as amostras em função da distância, o que significa que existe dominância. Portanto, pode-se concluir que existe um bom planeamento, visto não haver alternância entre a dominância das células. Pela análise da Figura D.7 conclui-se que não existe nenhuma situação anómala, portanto o caminho físico por onde passa a rádio frequência está bom. O desbalanceamento que existe poderá ser para favorecer o sinal descendente.

Esta célula está a processar tráfego na margem norte do rio Tejo, mas nesta zona existem estações que melhor podem servir os subscritores. Portanto, recomenda-se uma limitação na área de abrangência desta célula, quer seja através de planeamento e/ou parametrização. Mas é necessário ter em atenção se no limitar a célula não vão existir problemas de cobertura, ou se as estações da margem norte do rio congestionam por aumento de tráfego. Caso se opte que esta célula mantenha a área de dominância, é necessário que os subscritores possuam melhor nível de sinal, o que é obtido por redimensionamento na área de dominância da célula e/ou implementação de novo equipamento.

5.3 ESTUDO DA CÉLULA "VIADUTO 1"

A célula "Viaduto 1" faz cobertura no Viaduto Duarte Pacheco, nos acessos às Amoreiras para os subscritores que vêm da Ponte 25 de Abril e também num troço da Avenida da Índia, Figura C.4. A distância média de localização do tráfego desta célula é praticamente igual em todas as amostras (existe apenas uma variação de 300 m), Figura 5.4 .

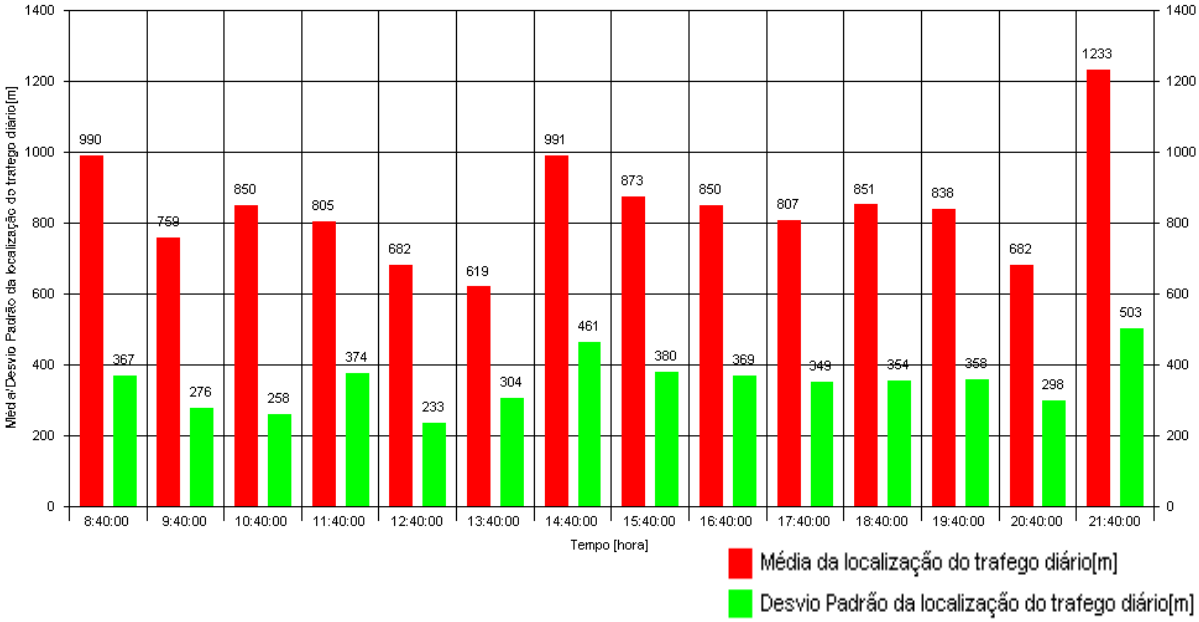

Figura 5.4: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Viaduto 1, 10Out'01.

Verifica-se que no início, meio e fim do dia, o tráfego processa-se a maior distância. Na amostra das 21h40, a localização do tráfego, em média é mais distante da célula e o desvio padrão tem o valor mais elevado, 503 m, mas a amostra é a segunda mais pequena, Figura 5.5. Portanto, a localização do tráfego está coerente com a Figura C.4.

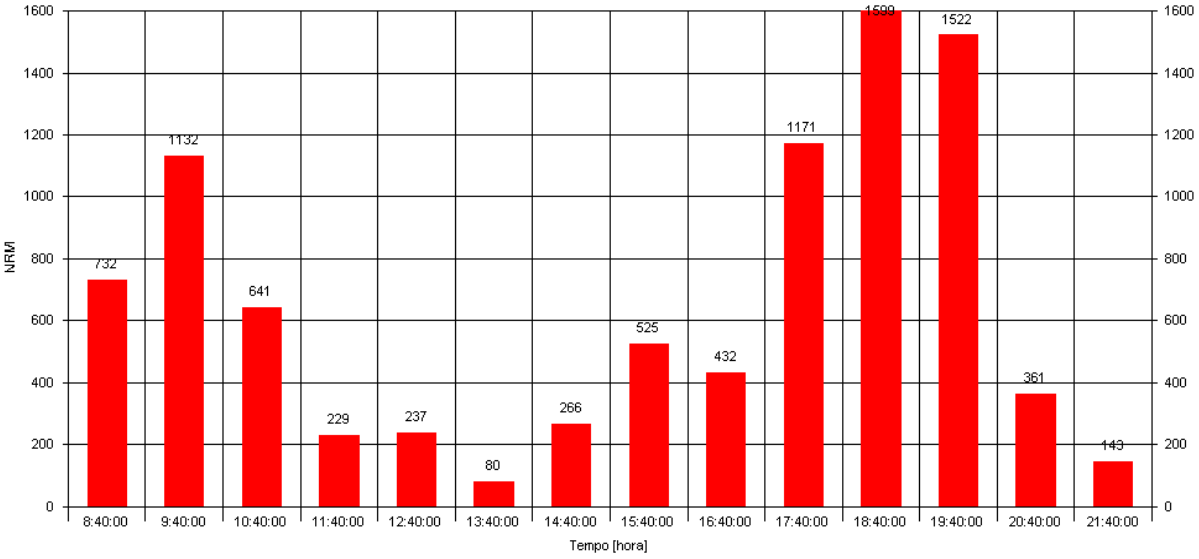

Figura 5.5: Regime Diário do Tráfego, Viaduto 1, 10Out'01, 9070 amostras.

O regime de tráfego diário observado neste canal rádio, Figura 5.5, é muito semelhante ao obtido na célula, Figura C.5, e o factor de correlação é de 0,91, portanto considera-se este canal rádio representativo da célula. As horas de maior tráfego são coincidentes com as horas de maior trânsito, 09h40 e 18h40, sendo as horas de entrada e saída de Lisboa.

As Figuras D.10 e D.12 mostram que existe sempre boa qualidade de sinal (esta degrada-se à medida que as MSs se afastam da célula) e o nível nunca é inferior a -75 dBm. Portanto, os subscritores usufruem de um sinal eficaz para satisfazerem as suas necessidades comunicativas, facto que também é confirmado pela Figura C.5 "*% Dropped Call*s".

Na análise da Figura 5.6 observa-se que na hora de maior tráfego a média máxima de canais ocupados ao longo dia é de 3,7 TSs. Assim sendo, a célula poderá estar sobredimensionada porque a taxa de ocupação é cerca de 50 % (neste canal rádio estão atribuídos 7 TSs para TCH). Nesta célula, pode-se admitir que não existem problemas de congestionamento ou bloqueio de chamada, Figura C.5 "*% Blocking*". Caso isto suceda, será devido a um acontecimento anormal, como por exemplo um acidente rodoviário, visto esta célula fazer a cobertura de eixos rodoviários importantes de acesso a Lisboa.

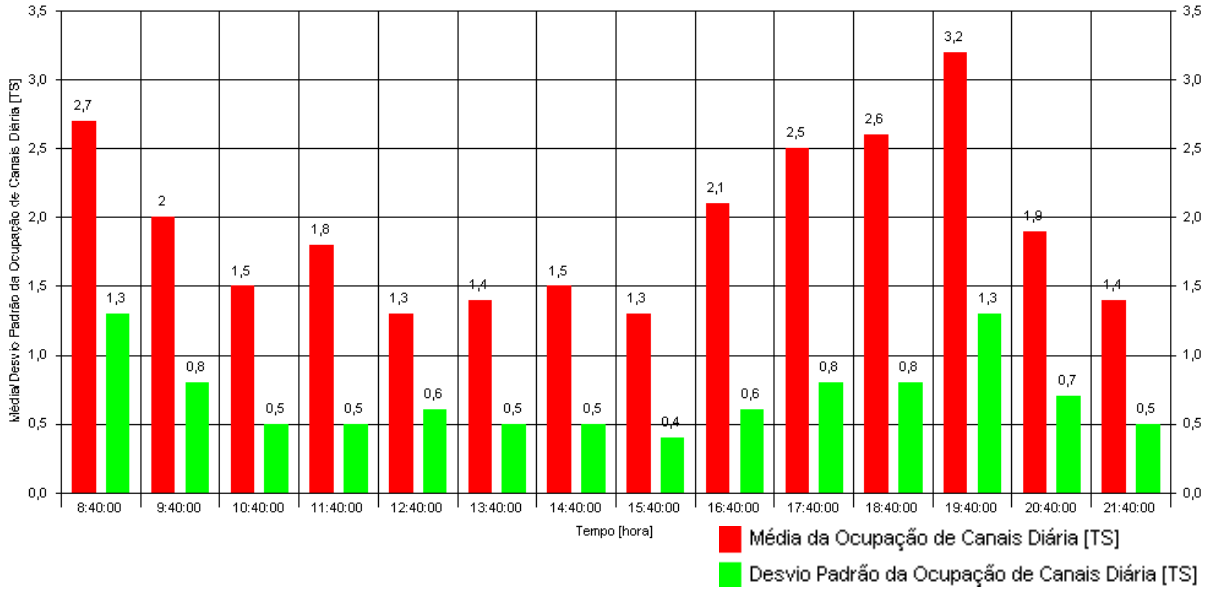

Figura 5.6: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Viaduto 1, 10Out'01.

No início da manhã, amostra das 8h40, as chamadas processam-se num intervalo de tempo mais curto, isto é, os utilizadores decidiram telefonar todos ao mesmo tempo, porque apesar de o NRM ser inferior ao número de outras amostras, a média de ocupação de canais é superior, Figura 5.5 e 5.6.

A célula servidora oferece aos subscritores um nível de sinal superior a – 75 dBm, mas verifica-se que por vezes os níveis das vizinhas é superior a esta, Figura D.11 e D.12, mas não se procede a HO porque a qualidade do sinal ascendente e descendente é bom, Figura D.13 e D.14. Através destas figuras observa-se que as duas melhores vizinhas em função da distância praticamente se mantém, o que se deve à dominância das células estar bem definida, portanto o planeamento em termos de dominância é bom, facto que se pode comprovar através da Figura C.5 " *% Dropped Calls*".

A Figura D.15 indica que a célula está com uma potência de transmissão bastante elevada, em 33,8% dos RMs transmite no máximo, apesar de haver controlo de potência. Como a distância de cobertura é baixa, Figura D.16, e a qualidade do sinal é alta, Figura D.14, pode-se concluir que muitos dos subscritores estão dentro de edifícios, ou então, estão no exterior mas com obstáculos à sua volta, como exemplo, é o caso dos subscritores que estejam em estradas por baixo de viadutos.

A área de dominância da célula é contida, com raio inferior a 1,5 km, visto estar num ambiente urbano e haver necessidade de muitas células para resolver os problemas de congestionamento e de cobertura no interior dos edifícios.

Por análise da Figura D.17, concluí-se que não existe nenhuma situação anómala, portanto o caminho físico por onde passa a rádio frequência está bom.

Esta é a típica célula urbana, com raio de dominância pequeno, boa qualidade de sinal ascendente e descendente e com média de sinal superior a –75 dBm. Recomenda-se que se efectue uma análise ao tráfego existente nesta célula e ao número de canais rádio existentes, tendo em consideração que esta é uma zona de passagem e que têm de existir bastantes TSs dedicados a SDCCH, isto para determinar se existe sobre-dimensionamento da célula.

5.4 ESTUDO DA CÉLULA "VIADUTO 2"

A célula "Viaduto2" faz a cobertura das torres e túneis das Amoreiras e edifícios em redor, Figura C.6. A distância média de localização do tráfego deste canal rádio é homogénea, existindo uma diferença de 200 m entre a média mais próxima e a mais afastada, Figura 5.7. Portanto, através desta figura, pode-se concluir que maioritariamente o tráfego processa-se nas Torres das Amoreiras (centro comercial e escritórios). Na Figura D.18, 70,9 % dos RMs da amostra estão localizados entre os 500 e os 1000 m, que é a distância das Torres das Amoreiras à BTS (nas figuras de "Localização do Tráfego" de outras amostras, observa-se localizações muito semelhantes). A localização do tráfego está coerente com a Figura C.6.

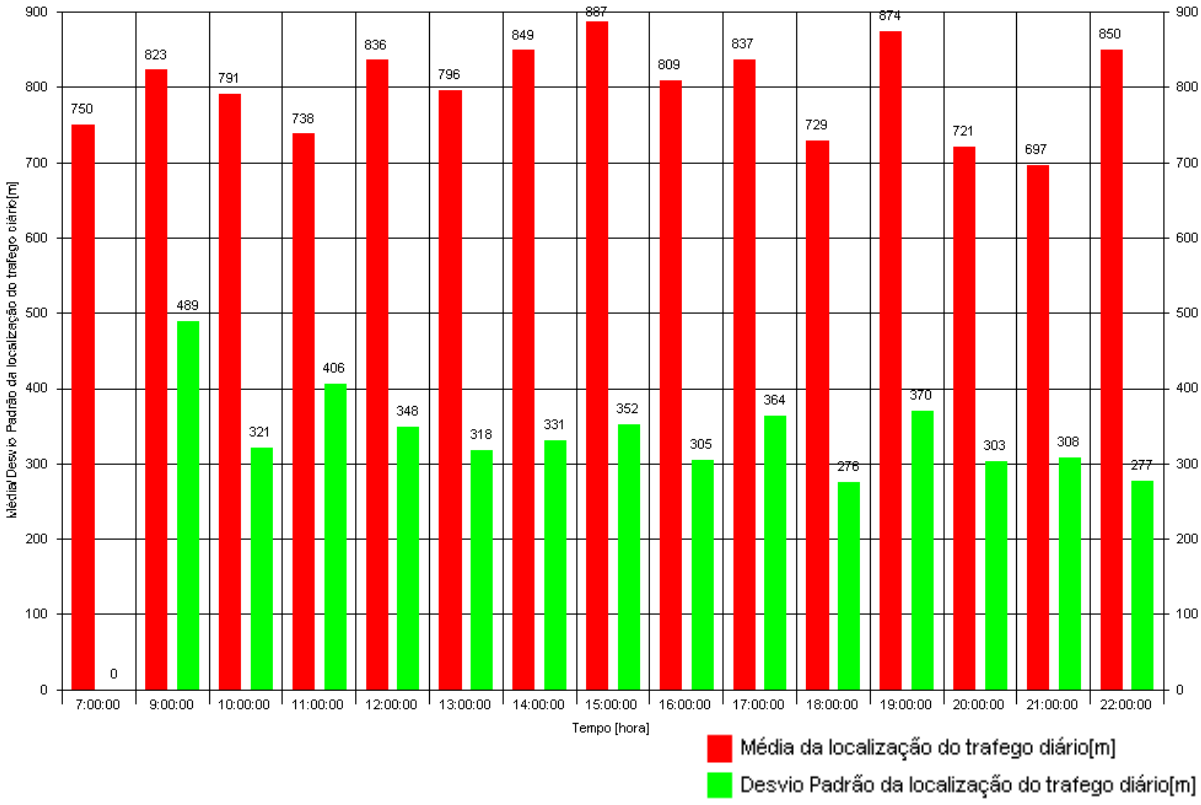

Figura 5.7: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Viaduto 2, 10Out'01.

O "Regime de Tráfego Diário", Figura 5.8, é semelhante ao obtido na Figura C.7, o factor de correlação é de 0,91. A excepção é na amostra das 21h00, que é a única em que a localização média é inferior a 700 m com boa qualidade e baixo nível. A Figura 5.8, indica também que as horas de maior tráfego são coincidentes com as horas de saída de Lisboa.

As Figuras D.19 e D.20 mostram que existe sempre boa qualidade de sinal ascendente e descendente, e apenas uma ligeira degradação quando a MS está mais afastada da BTS. O nível de sinal, Figura D.21, é bom, nunca é inferior a –65 dBm (sem controle de potência).

A Figura C.7, "*% Dropped Calls*" mostra um pico de queda da chamada de cerca de 5%. O facto por acontecer por volta das 4h00 não é relevante, por observação da evolução do tráfego entre as 3h00 e as 4h00, terá havido cerca de 0,1 Erl de tráfego na célula. Segundo o ICP, em média, e se não houvesse quedas de chamadas, teriam existido 4 chamadas de 90

segundos, mas neste caso, em principio, são 20 chamadas de 18 segundos. Pode-se concluir que houve alguém responsável por este insucesso no estabelecimento de chamada, quer tenha sido a receber ou a efectuar, a sua localização não era favorável ou a MS não estava nas melhores condições de funcionamento.

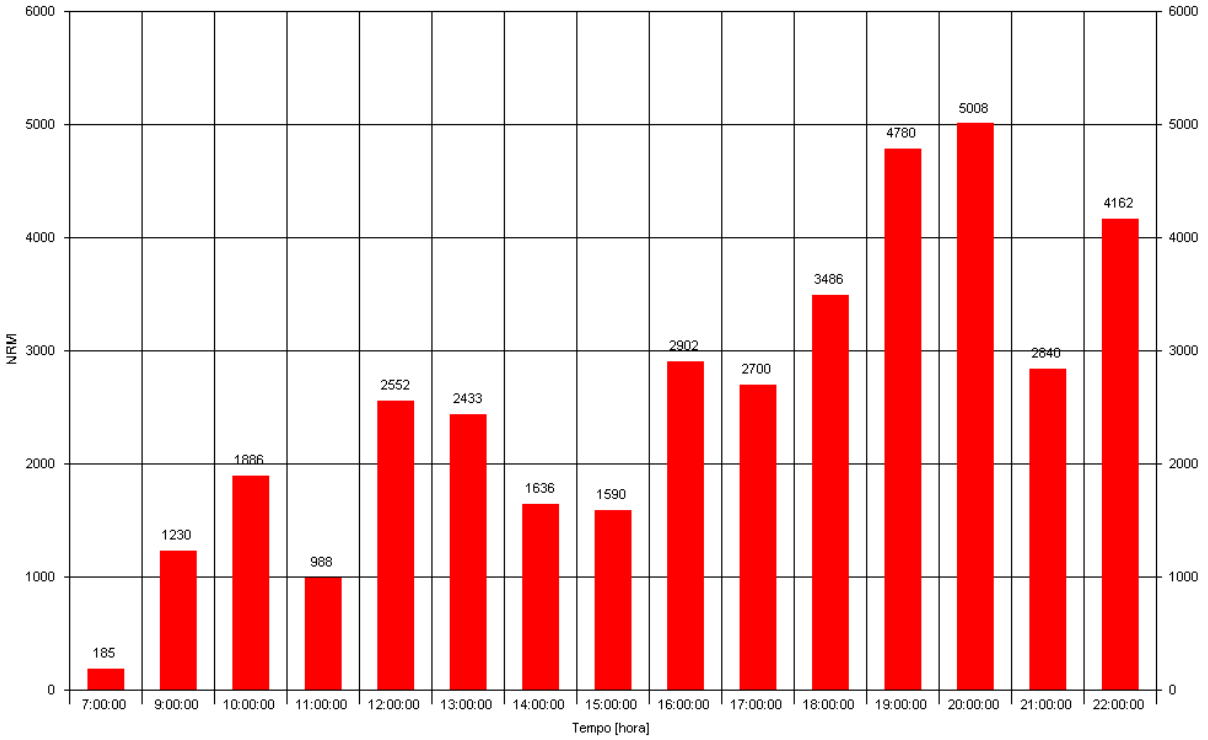

Figura 5.8: Regime Diário do Tráfego, Viaduto 2, 10Out'01, 38378 amostras.

A célula servidora oferece aos subscritores um sinal de nível médio através do controle de potência, Figura D.22, mas as duas melhores vizinhas têm níveis mais baixos. Isto significa que a dominância da célula servidora é absoluta, Figuras D.21 e D.23. Esta situação pode parecer estranha, porque a BTS está em ambiente urbano e a área de dominância é pequena e não está bem definida pelo facto de existirem bastantes células; uma parte substancial do tráfego é efectuado no interior de edifícios, e por vezes é difícil para o planeamento projectar a dominância de uma célula exterior no interior de edifícios. Através das Figuras D.21 e D.22, verifica-se que a célula servidora oferece aos subscritores o melhor nível de sinal. As melhores vizinhas em função da distância variam, o que se deve ao facto de não haver dominância nos locais onde se encontram os subscritores, devido à maior parte deles se encontrar no interior de edifícios. Esta é uma das razões para os Operadores recorrerem a soluções de cobertura no interior de edifícios.

A Figura D.25 indica que a célula utiliza a potência máxima em 33,6 % dos casos, apesar do controlo de potência estar activo; a qualidade de sinal boa e a distância das MSs é pequena, o que se deve ao elevado tráfego no interior dos edifícios. Na Figura D.24, verifica-se que a BTS não transmite tantas vezes no máximo, mas verifica-se que cerca de 60% do tráfego se processa entre a potência máxima (36 dBm) e os 26 dBm (5 níveis de atenuação de 2 dBm cada), portanto existe uma distribuição diferente dos utilizadores na área de dominância da célula; através da mesma figura, conclui-se que 13% dos subscritores encontram-se em linha de vista com a BTS, porque a potência de transmissão é de 6 dBm.

Na análise da Figura 5.9, verifica-se que na hora de maior tráfego a média de ocupação de canais é de 5,3, com um desvio padrão de 1,2, então esta célula não tem congestionamento, confirmado pela Figura C.7 "*% Blocking*", e possui uma margem de

segurança para o caso de o tráfego aumentar, ou existir alguma situação anómala, como por exemplo um acidente de viação.

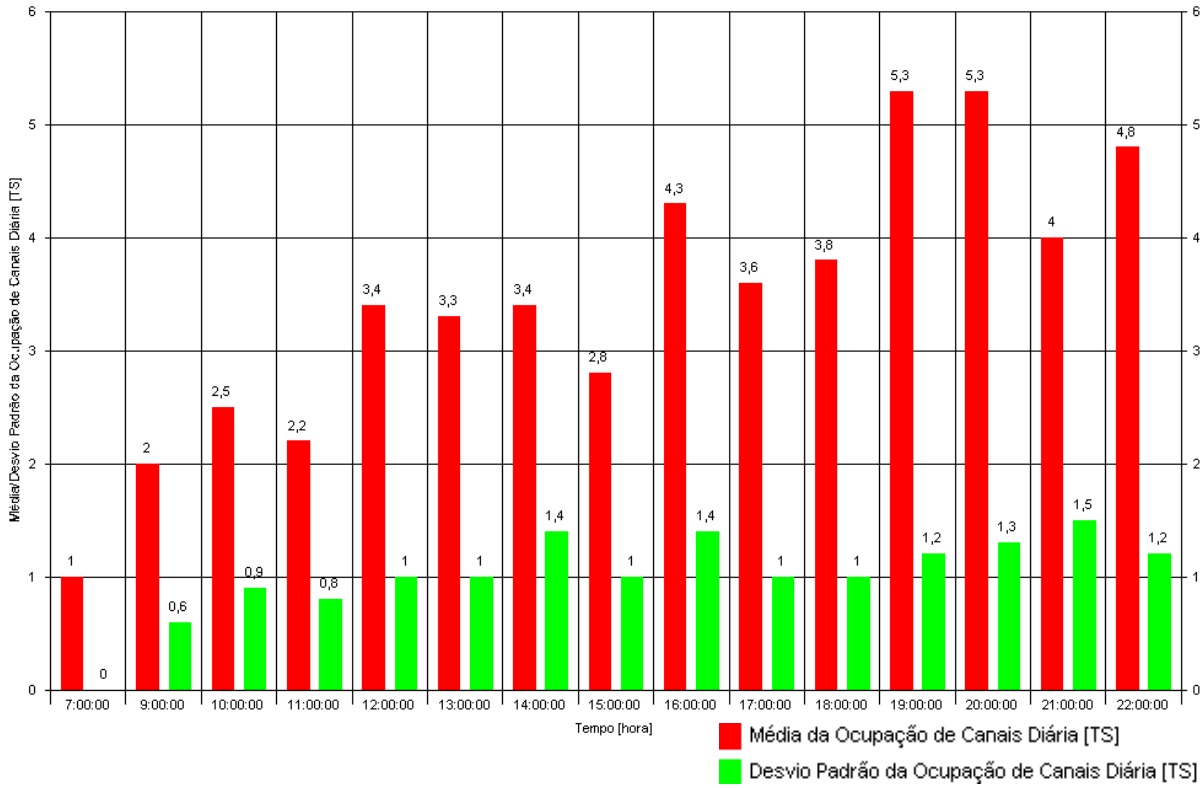

Figura 5.9: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Viaduto 2, 10Out'01.

A Figura D.26, indica que existe um ligeiro desbalanceamento de forma a favorecer o sinal descendente, eventualmente poderá haver problemas de recepção da rádio frequência, mas para chegar a esta conclusão é necessário averiguar se é propositado ou não.

Esta célula tem uma área de dominância pequena, boa qualidade de sinal e nível médio. O nível médio de sinal é uma das razões que provoca que a percentagem de quedas de chamadas atinja 1%, portanto é importante aumentar o nível de sinal. O aumento do nível de sinal pode acontecer com um redimensionamento da célula, ou então através de equipamento (repetidores ou projectos específicos para a cobertura no interior dos edifícios).

5.5 ESTUDO DA CÉLULA "VIADUTO 3"

A célula "Viaduto 3", Figura C.8, faz a cobertura de um troço da Av. da Ponte 25 de Abril, Av. de Ceuta e das zonas limítrofes dos bairros Casal Ventoso e Campo de Ourique.

A distância média de localização de tráfego varia entre os 250 e 1517 m, Figura 5.10, e desvio padrão tem variações acentuadas. Em algumas amostras o desvio padrão é 50% da localização média do tráfego (amostra das 11h10).

A Figura 5.11 tem uma evolução de tráfego semelhante à da Figura C.9, e o factor de correlação é de 0,91. O subscritor, nas maiores amostras, usufrui de um sinal com boa qualidade e nível, Figura D.27 e D.28, na área de dominância. A excepção acontece entre os 2000 e os 2500 m, Figuras D.29 e D.30, onde a qualidade é má e o nível é baixo, mas o tamanho da amostra é pequeno. O sinal ascendente tem um nível menor que o descendente e a qualidade é boa, mas entre os 1500 e os 2000 m existe degradação da qualidade; a causa mais provável é a localização da MS no interior de edifícios.

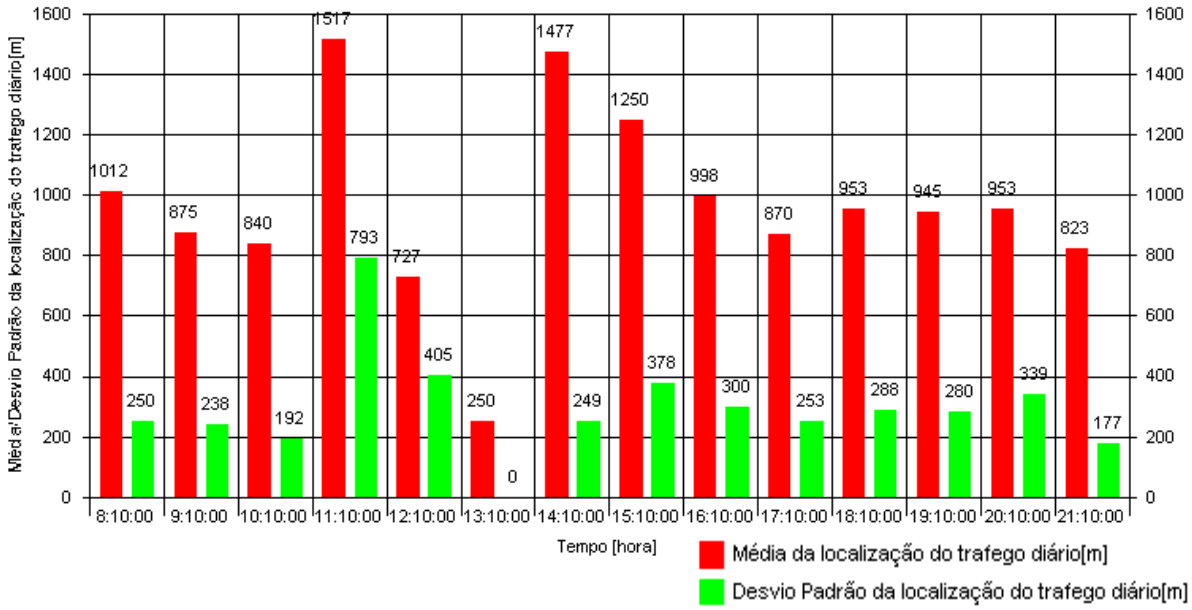

Figura 5.10: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Viaduto 3, 10Out'01.

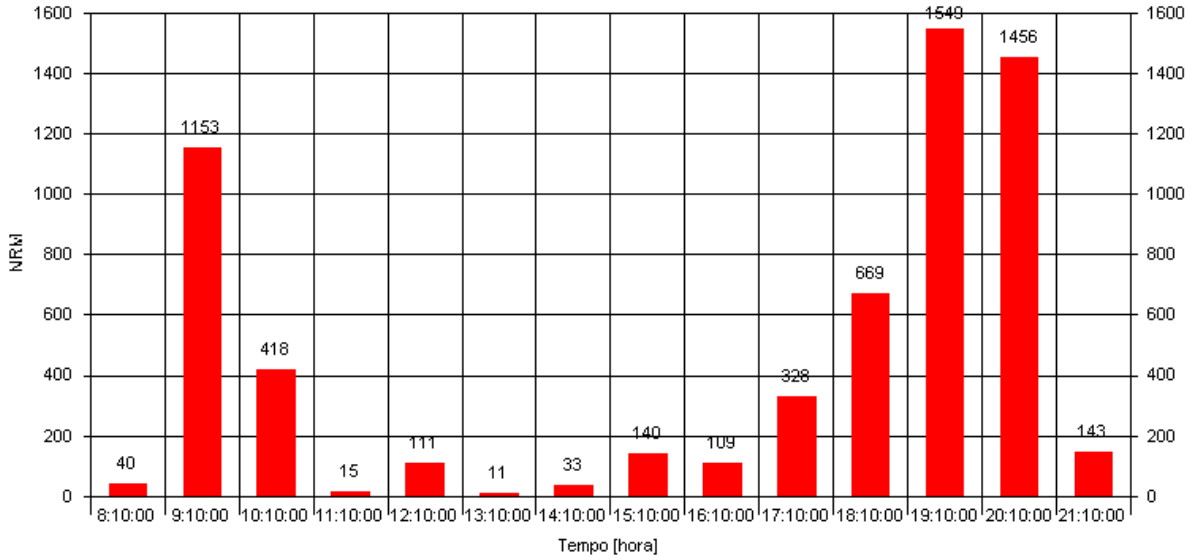

Figura 5.11: Regime Diário do Tráfego, Viaduto 3, 10Out'01, 6175 amostras.

A Figura 5.12 mostra que este canal rádio tem uma média de ocupação dos TSs baixa, sempre inferior a 3,4 TSs, e o desvio padrão também não é elevado. Caso nos outros canais rádio da célula se verifique uma percentagem de ocupação de canais semelhante, é necessário proceder a um redimensionamento da célula, ou então verificar se esta célula cumpre os requisitos de capacidade planeados para a área de dominância; na Figura C.9 "*% Blocking"* não se verifica a existência de bloqueio de chamadas, e factor de correlação entre a Figura 5.12 e a evolução de tráfego, Figura C.9, é de 0,78.

A área de dominância da célula é muito extensa, e existem pequenas áreas de dominância onde a célula se faz sentir. E, quando este caso acontece, uma de duas situações pode acontecer: a MS sofre o efeito "*Ping-Pong*" havendo a possibilidade da chamada cair, porque existe muito processamento de sinalização; ou então, a MS inicializa a chamada nesta célula e quando se move tenta fazer HO, mas as células à volta não estão declaradas como vizinhas desta e a chamada perde-se, Figura C.9, "*% Dropped Calls*".

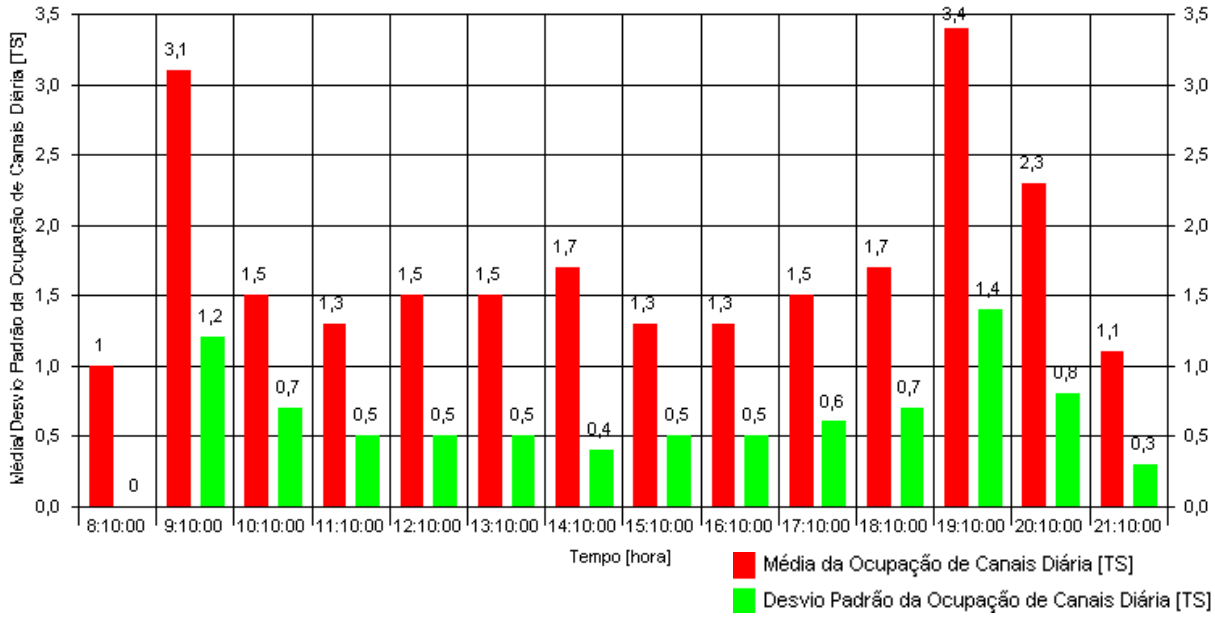

Figura 5.12: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Viaduto 3, 10Out'01.

Na amostra das 13h10, existem somente 11 NRMs, a ocupação média de TSs é de 1,5 com desvio padrão de 0,5 TSs e a localização média de tráfego é de 250 m com desvio padrão nulo, portanto, pode-se concluir que existe uma pequena zona de passagem onde as MSs acedem a esta célula. Os 11 NRMs não são de uma única chamada, porque se assim fosse a ocupação média de TSs seria 1 com desvio padrão nulo.

Nas amostras maiores verifica-se que o tráfego se localiza entre os 500 e os 1000 m, Figura D.31 e D.32. Verifica-se também, pelas mesmas figuras, que a célula está a processar tráfego em pequena quantidade entre os 2000 a 2500 m, e que não faz qualquer sentido, torna-se por isso necessário limitar a célula aos 2000 m.

Os subscritores que maioritariamente utilizam esta célula podem ou não estar em linha de vista, Figuras D.33 e D.34, dependendo da hora de recolha da amostra. Na Figura D.33, o transmissor tanto utiliza a potência máxima como a mínima, o que significa que as MSs podem estar ou não em linha de vista com a BTS. Na Figura D.34, verifica-se que os transmissores necessitam da sua potência máxima para processar o tráfego, portanto existe um qualquer tipo de obstáculo entre as duas fontes de sinal.

As Figuras D.28, D.35, D.36 e D.37 demonstram que o sinal descendente possui um nível bom e boa qualidade, e que no sentido ascendente o nível e qualidade de sinal se deterioram relativamente ao sinal descendente, mas esta é uma situação normal (porque as potências envolvidas são diferentes). A célula servidora possui sempre melhores níveis do que as suas vizinhas, Figuras D.37 e D.38, a excepção acontece entre os 2000 e 2500 m, onde a célula em análise deixou de ser dominante.

Nas Figuras D.39 e D.40 verifica-se que o balanceamento de potências está em torno de zero, portanto a atenuação no canal de propagação é igual nos dois sentidos.

Esta célula necessita de um redimensionamento na sua área de cobertura, tornando-se imprescindível eliminar o tráfego que se processa entre os 2000 e os 2500 m. E também é necessário reavaliar a capacidade da célula, pois a média de ocupação de canais é baixa.

Na análise das três células que constituem a BTS "Viaduto Duarte Pacheco", verifica-se que a intensidade de tráfego está relacionado com as horas de maior trânsito (entrada e saída de Lisboa) e com o horário de entrada e saída dos empregos. A potência de transmissão, o nível e qualidade de sinal estão relacionados com a localização das MSs. A localização média do tráfego está conforme os eixos rodoviários das áreas de dominância das células.

5.6 ESTUDO DA CÉLULA "BELÉM"

A célula "Belém" faz a cobertura de um troço da Avenida 24 de Julho, tabuleiro norte da Ponte 25 de Abril e nas Doca de Santos, Figura C.11 e C.12.

O intervalo de variação de tráfego é de 650 m, Figura 5.13. Nas Figuras D.41 e D.42 observa-se que o tráfego processa-se maioritariamente entre os 500 e 1500 m, que é a distância da BTS ao tabuleiro da ponte, portanto, pode-se concluir que esta é uma das células de cobertura do norte da ponte. Pelas mesmas figuras, observa-se que o tráfego está disperso até à distância de 4500 m, que se deve tráfego em grande parte aos subscritores que atravessam a ponte em direcção ao sul, acedendo à célula no início norte da ponte e mantendo a chamada até à praça das portagens. No sentido contrário esta situação não acontece, porque a célula de Belém não é dominante na Praça das Portagens e no sul do tabuleiro da ponte, portanto as MSs acedem às células da margem sul do rio Tejo e estão atribuídas a esta até ao final da ponte.

Na Figura D.42 observa-se a existência do rio Tejo, devido à ausência de tráfego, mas eventualmente pode surgir tráfego se houver embarcações com subscritores que nesse momento estejam ligados à rede; também se verifica tráfego processado na margem sul do rio, o que é uma situação normal, porque não existe nenhuma BTS na margem sul em que a sua área de dominância seja coincidente com a zona, porque esta está no sopé do monte.

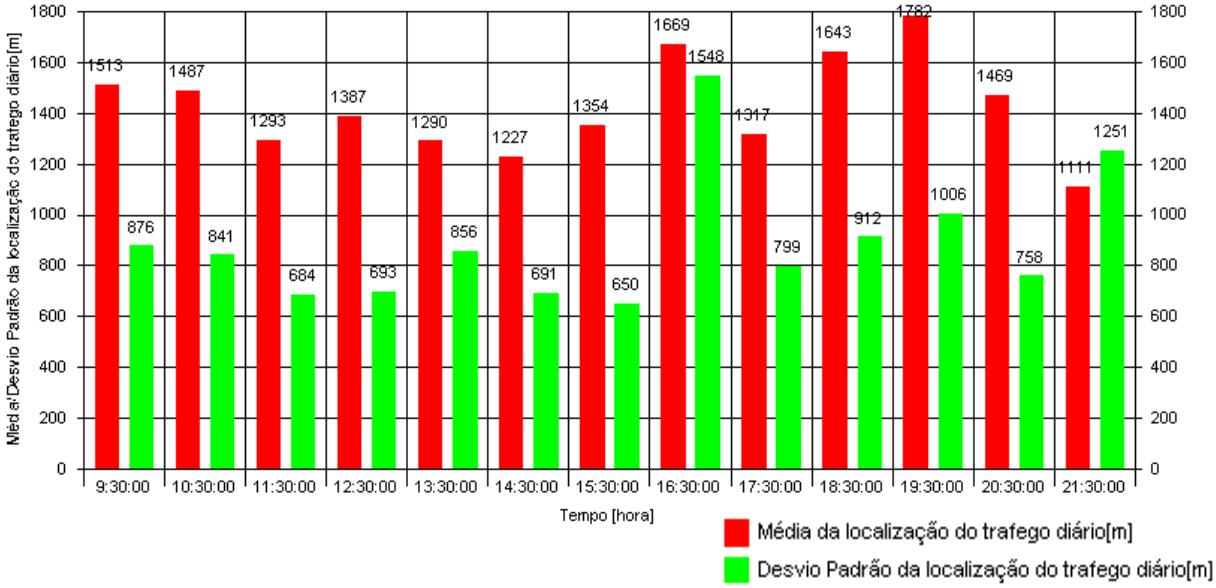

Figura 5.13: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Belém, 11Out'01.

O "Regime Diário do Tráfego", Figura 5.14, é razoavelmente semelhante ao obtido na Figura C.13, e o factor de correlação é de 0,42; assim sendo, pode-se extrapolar algumas conclusões deste canal rádio para a célula. A Figura 5.14 mostra que não existe nenhuma variação abrupta de tráfego, pois a quantidade de NRMs de cada uma das amostras não difere muito, observando-se um ligeiro aumento nas horas de entrada e saída de Lisboa, mas que não é discrepante.

As Figuras D.43 e D.44 mostram que entre os 2500 e 3000 m existe degradação na qualidade do sinal descendente; a causa provável é devido às MSs estarem localizadas sobre a ponte 25 de Abril, e estarem expostas aos sinais provenientes de outras células.

Na margem sul do rio Tejo, Figuras D.43 e D.45, a qualidade e nível médio dos sinais são médios, Figura D.46, o que se deve à interferência e à localização das MSs. A qualidade e o nível do sinal ascendente são inferiores ao do descendente, o que é uma situação normal devido às potências envolvidas nas estações. Os sinais descendente e ascendente possuem valores médios baixos, Figuras D.47 e D.48, o que incrementa a possibilidade que haver queda de chamadas, como mostra a Figura C.13 "*% Dropped Calls*" .

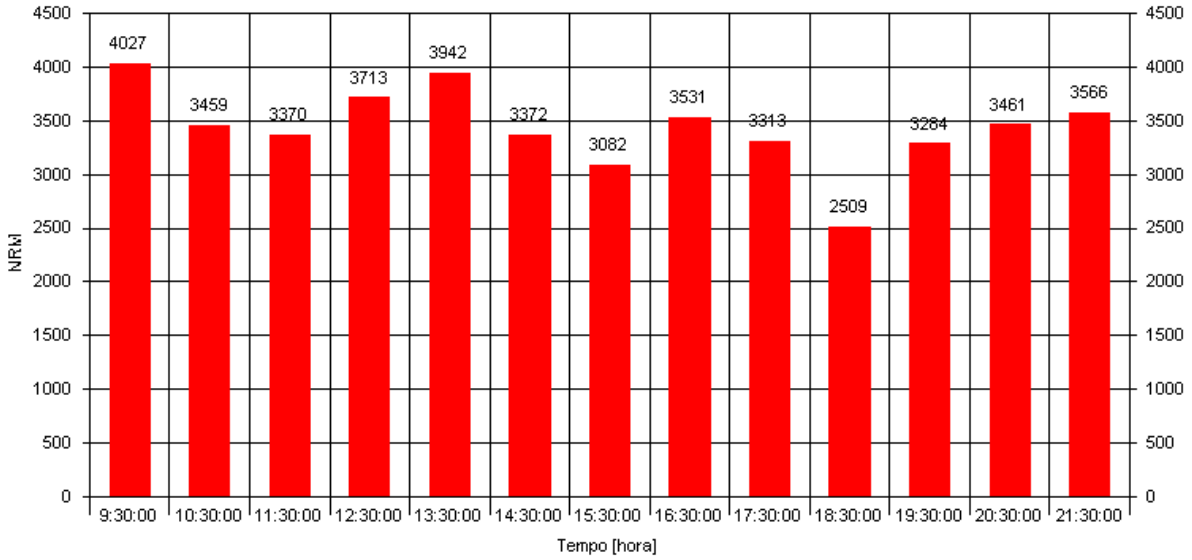

Figura 5.14: Regime Diário do Tráfego, Belém, 11Out'01, 44629 amostras.

A Figura 5.15 indica que a média de ocupação de canais é semelhante, entre os 4,8 e os 5,2 TSs com desvio padrão de 0,9 TSs. Portanto esta célula não deveria ter bloqueio porque a média de ocupação é inferior ao valor máximo, mas assim não acontece, Figura C.13 "*% Blocking*": a causa deste bloqueio pode estar relacionada com o facto de os subscritores acederem em grande quantidade à rede num curto intervalo de tempo.

O factor de correlação entre a Figura 5.15 e evolução de tráfego, Figura C.13, é 0,53.

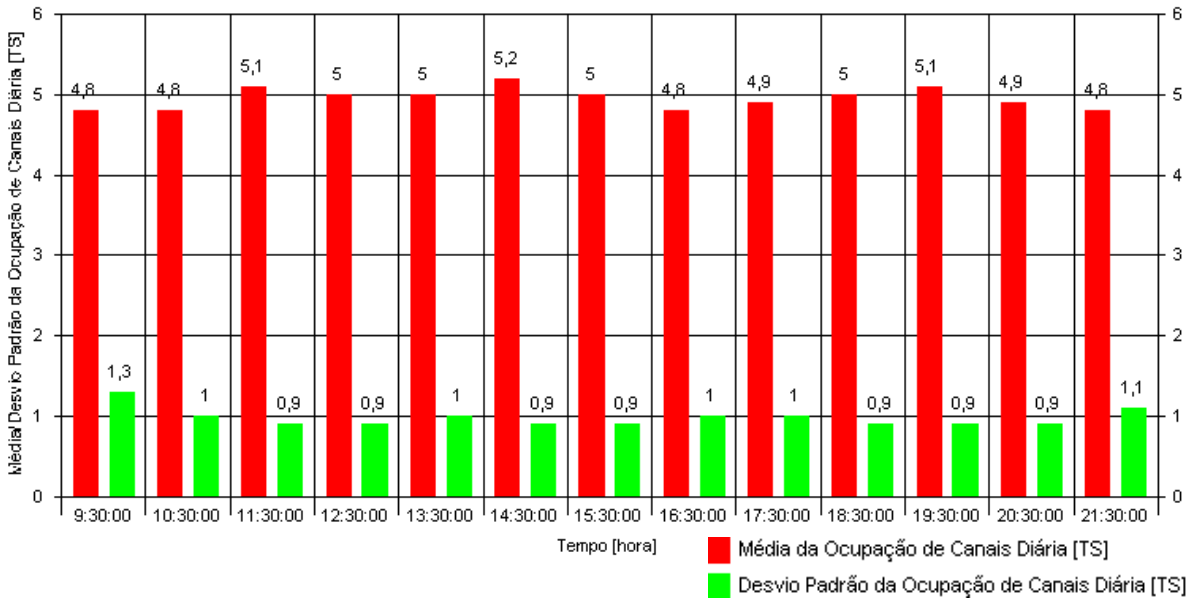

Figura 5.15: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Belém, 11Out'01.

O transmissor utiliza a sua potência máxima em 50% dos casos, Figuras D.49 e D.50, o que se deve ao facto do espaço rádio onde se encontram as MSs estar bastante interferido com os outros sinais.

O espaço rádio onde a célula de Belém exerce a sua dominância é bastante interferido, devido à sua localização geográfica. Na Figura D.51, observa-se que o nível descendente da célula servidora, célula de Belém, é maioritariamente inferior à das suas vizinhas. Poder-se-á questionar porque é que o HO não ocorre? O HO não ocorre porque o algoritmo deste pondera vários factores, como seja a qualidade. Ao fazer-se a comparação desta figura com outras obtidas, verifica-se que as duas melhores vizinhas não são as mesmas em função da

distância, devido à localização da célula e ao facto das MSs não estarem exactamente na mesma posição.

A Figura D.52 indica que as atenuações ascendentes e descendentes são praticamente iguais.

Esta célula processa tráfego a grande distância, apesar de ser uma célula urbana. A sua localização geográfica (cota elevada e à distância de 500 m ao rio Tejo) é a razão principal para processar tráfego na ponte 25 de Abril e na margem sul do Tejo.

5.7 ESTUDO DA CÉLULA "SALDANHA"

O tráfego da célula "Saldanha" localiza-se no Saldanha e nos edifícios envolventes, que são de escritórios ou de centros comerciais, Figura C.14.

A distância média de localização do tráfego das várias amostras é semelhante, Figura 5.16. Este resultado não é surpreendente, porque se está perante uma célula urbana, rodeada por edifícios altos, pelo que o raio de dominância é pequeno; as Figuras D.53 e D.54 mostram que a maior parte de tráfego é processado até 500 m (o desvio padrão varia entre os 140 e 328 m). A localização média do tráfego é semelhante à cobertura exposta na Figura C.14.

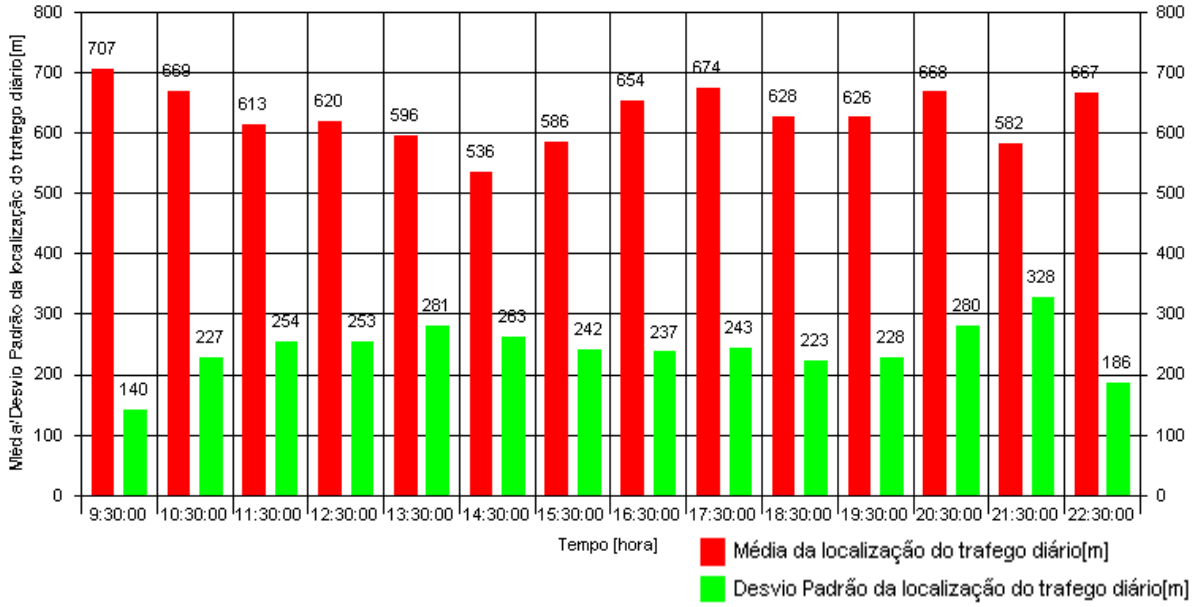

Figura 5.16: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Saldanha, 10Out'01.

O "Regime Diário de Tráfego", Figura 5.17, é semelhante ao obtido pelo módulo estatístico do OMC, Figura C.15, sendo o factor de correlação entre estas curvas de 0,73. O tráfego cresce de manhã até à hora do almoço, e no fim da hora de expediente decresce. Na amostra das 15h30 verifica-se um pico de tráfego, que pode ser devido a uma pausa no trabalho, porque se situa no meio da tarde.

As Figuras D.55 e D.56 indicam que a partir dos 1000 m de distância o sinal da servidora tem níveis inferiores a – 60 dBm isto é devido à célula processar maioritariamente tráfego no interior dos edifícios. A área de dominância das células está definida como uma superfície, portanto é impossível saber o local exacto da MS. A incerteza do local provoca diferença nas duas melhores vizinhas para cada amostra à mesma distância da BTS.

As Figuras D.57, D.58, D.59 e D.60, mostram que o nível da célula servidora é médio, cerca de –70 dBm, e que a qualidade é boa, o que significa que não deveria haver quedas de chamadas, mas assim não acontece, Figura C.15 "*% Dropped Calls*" (as causas podem ser as mais diversas, como exemplo, o facto de haver muitas caves com garagens e elevadores). O sinal ascendente tem um nível inferior ao descendente, o que é uma situação normal. O sinal

ascendente é a ligação com menor nível porque envolve potências mais baixas, dependendo do local e da classe da MS envolvida. A qualidade do sinal ascendente também é inferior à do descendente pelas mesmas razões.

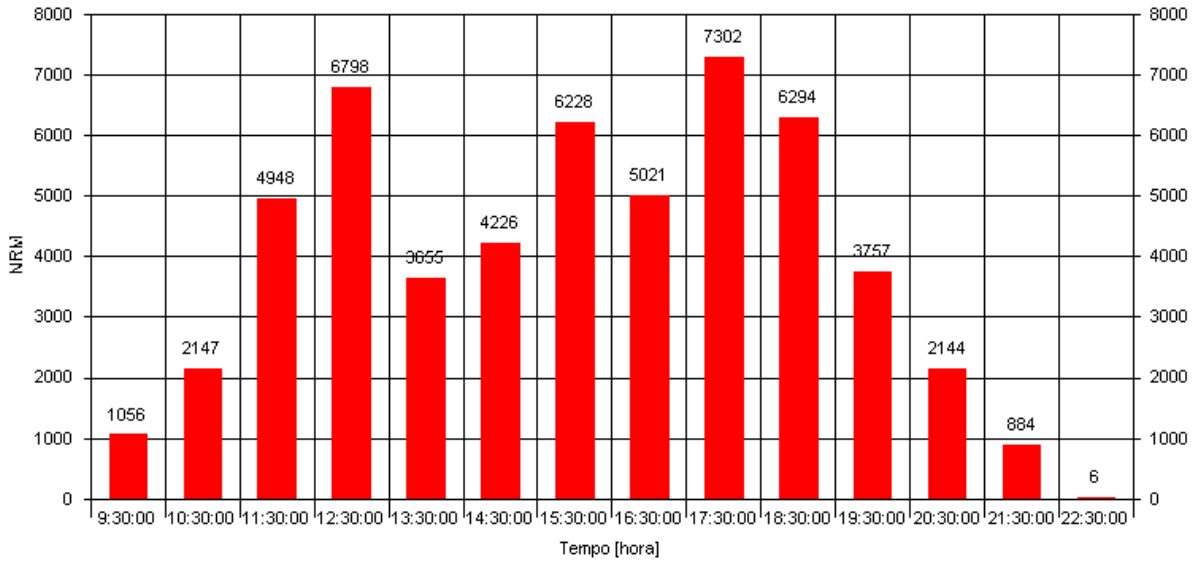

Figura 5.17: Regime Diário do Tráfego, Saldanha, 10Out'01, 54466 amostras.

A análise das Figuras 5.18 e D.61 indicam que o canal rádio na hora de maior tráfego pode ter em média 6,4 TSs ocupados, e em alguns momentos o canal rádio tem os 7 TSs ocupados durante 58,2% do tempo. Portanto existe a possibilidade de uma nova chamada não se iniciar. O factor de correlação entre a Figura 5.18 e a evolução do tráfego, Figura C.15, é 0,77.

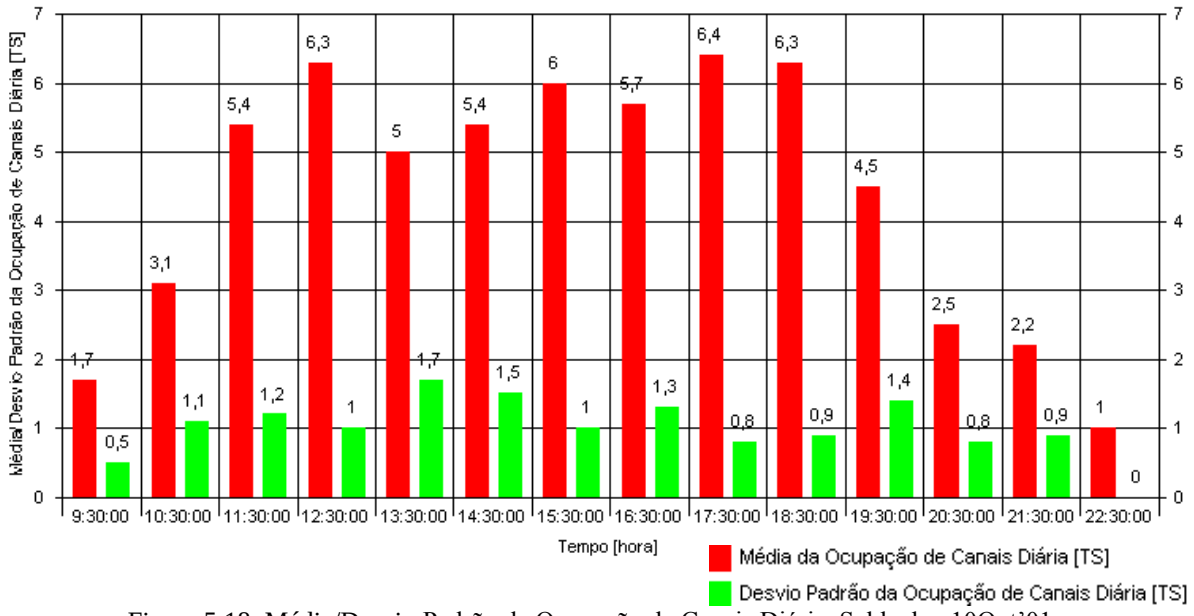

Figura 5.18: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Saldanha, 10Out'01.

Na Figura D.63, na amostra das 20h30, verifica-se que o transmissor necessita de pouca potência para estabelecer a ligação, 25,1% das amostras são processadas com 6 dBm. Enquanto que em outras amostras, por exemplo Figura D.62, o transmissor necessita da sua potência máxima em 17,5% dos casos. Esta diferença, é devida ao tráfego da amostra das 20h30 ser tráfego de rua, enquanto que nas outras amostras o tráfego é no interior dos edifícios. Na Figura D.62 também se verifica a existência de tráfego misto, subscritores no interior de edifícios e na rua (início de tráfego intenso na Av. Fontes Pereira de Melo).

As Figuras D.64 e D.65 demonstram que existe equilíbrio na atenuação do sinal ascendente e descendente.

Este canal rádio está a processar tráfego quase no limite da sua capacidade, portanto recomenda-se uma ampliação da célula, ou recorrer a projectos para o interior dos edifícios onde se processa a maior quantidade de tráfego. Mas deve-se analisar as outras células da BTS para verificar se o tráfego está distribuído. Caso não esteja, recomenda-se um redimensionamento da célula para equilibrar o tráfego, esta solução nem sempre é praticável.

5.8 ESTUDO DA CÉLULA "SANTO ANTÓNIO DOS CAVALEIROS"

A célula "Santo António dos Cavaleiros" faz a cobertura da auto-estrada que dá acesso a Santo António dos Cavaleiros e Lisboa (CRIL). Verifica-se, de uma forma geral; que o tráfego processado é na zona da auto-estrada, e que os subscritores se localizam essencialmente a distâncias médias entre os 1500 e os 2000 m, Figura 5.19. Ao fazer-se esta comparação entre esta distribuição com a da Figura C.16, verifica-se que a dominância da célula é essencialmente sobre a auto-estrada e a área circundante tipicamente suburbana.

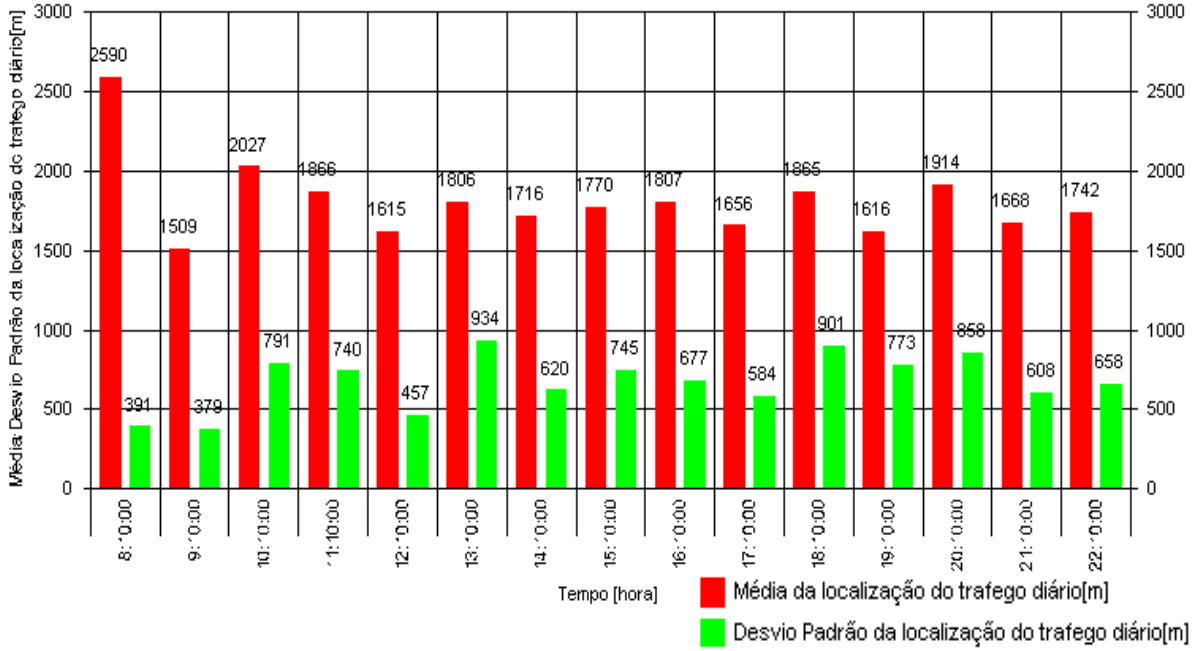

Figura 5.19: Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário, Cavaleiros, 10Out'01.

Da análise das figuras de "Localização do Tráfego", Figuras D.66 e D.67, constata-se que o tráfego se processa quase exclusivamente entre os 500 e os 2500 m, que é claramente dentro da zona da auto-estrada. A estação localiza-se no cimo de um monte, e na encosta deste na direcção de propagação da célula apenas existe uma estrada secundária pouco frequentada, a uma distância aproximada de 400 m; esta é a razão porque em algumas amostras, Figura D.67, não existe tráfego processado entre os 0 e os 500 m (salienta-se também a hora da amostra, 21h10).

Na análise da "Ocupação de Canais Diária", verifica-se que existem duas amostras com tráfego mais intenso, no final da manhã e no final do dia, Figura 5.20, típicas de uma zona de acesso a Lisboa. Os aumentos de tráfego destas amostras são muito pouco acentuados, só sendo evidenciados devidos à quase ausência de tráfego durante a noite, Figura C.17. Comparando as Figuras 5.20 e 5.21 com a Figura C.17 verifica-se que a correlação entre os gráficos é boa (0,82 no caso do "Regime do Tráfego Diário" e 0,93 no caso de "Ocupação de Canais Diária"). Logo, pode-se afirmar que estas análises são representativas

da evolução do tráfego ao longo do dia, e pode-se extrapolar algumas conclusões deste canal rádio para a célula em estudo.

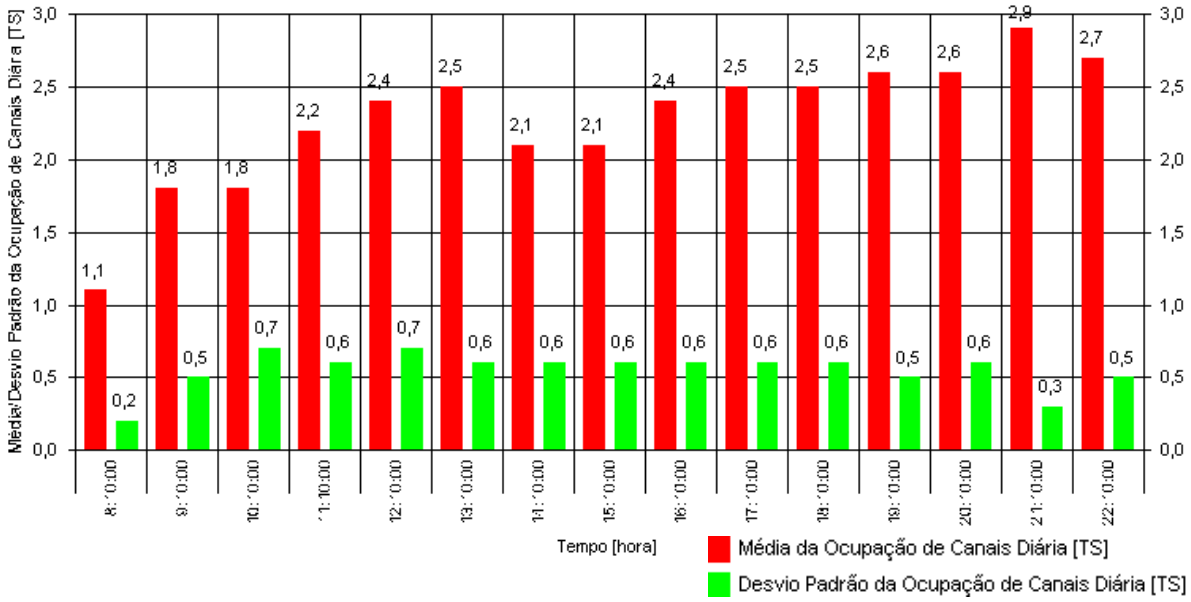

Figura 5.20: Média/Desvio Padrão da Ocupação de Canais Diária, Cavaleiros, 10Out'01.

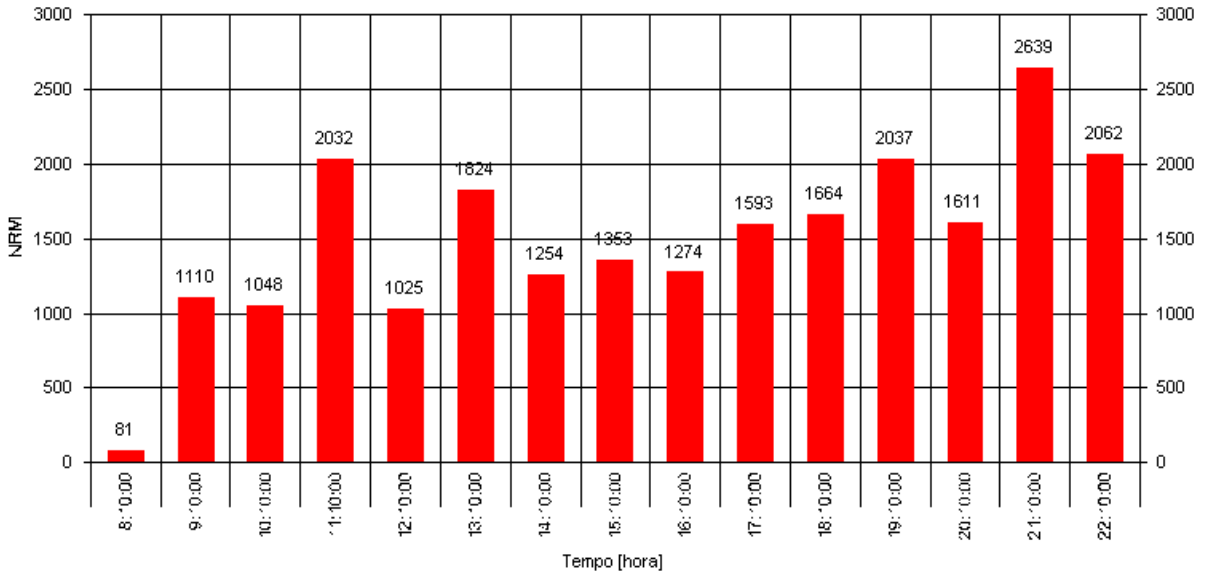

Figura 5.21: Regime Diário do Tráfego, Cavaleiros, 10Out'01, 22607 amostras.

A análise da Figura D.68, e de outras amostras para outras horas do dia, permite verificar que o tráfego se encontra perto do limite suportado por este canal de rádio, dado que este apenas dispõe de 4 TCHs. No entanto, a célula encontra-se apta a suportar o tráfego da zona, pois a taxa de bloqueio é nula ao longo do dia, como se verifica na Figura C.17 "*% Blocking*".

Dentro da área de dominância da célula verifica-se que os níveis de sinal descendente são médios, na ordem de –70 a –75 dBm, Figura D.69, e que os níveis de qualidade são bons, Figura D.70 e D.71. No entanto, os níveis das 2 melhores vizinhas são semelhantes aos da célula servidora, podendo mesmo ser superiores, Figura D.72. Ou seja, no início de uma chamada poderá ser difícil para o sistema decidir por que célula a MS deverá iniciar a chamada, existindo assim motivo de geração de HO desnecessários. Esta poderá ser a

justificação para o índice elevado de chamadas perdidas (varia entre 1% e 4%), motivado pelo processamento excessivo de controlo, e que tem uma evolução semelhante à evolução do tráfego, Figura C.17 "*% Dropped Calls*". Ao nível de "Balanceamento da Potência" existe bastante equilíbrio, Figura D.73.

A principal conclusão da análise desta célula é que de uma forma geral se encontra bem dimensionada e que a sua área de dominância é bem definida. No entanto, o índice de chamadas perdidas é elevado e segue uma evolução semelhante à do tráfego, que deve ser, em princípio, motivado por níveis de sinal adjacentes igualmente bons, o que provoca HOs sucessivos. É recomendável uma análise das células vizinhas e eventualmente o seu redimensionamento em cobertura.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

O objectivo deste trabalho foi criar uma ferramenta de *software* para auxiliar o planeamento celular e simultaneamente para detecção de anomalias na rede. Complementarmente, e como forma de aferir a validade dos resultados debitados por esta ferramenta, foram executadas as análises das BTSs de alguns ambientes especificamente seleccionados para este efeito.

A escolha das BTSs para estudo teve como objectivo analisar as condições de qualidade em que os subscritores acedem à rede, identificar o fluxo de tráfego ao longo do dia num canal rádio e estudar ambientes diferentes na área da Grande Lisboa. As BTSs em estudo estão inseridas em ambientes distintos; é o caso das BTSs "Belém" e "Saldanha", em que a primeira está junto ao rio Tejo e processa tráfego nas duas margens, enquanto a segunda está no centro de Lisboa e se verifica o fluxo de subscritores da ambientes interiores para exteriores e vice-versa.

O *software* utilizado para a realização desta ferramenta é o *Visual Basic 6.0* por ser de fácil implementação e compreensão. A ferramenta lê os ficheiros que contêm os RMs de forma sequencial e coloca-os na BD. Por vezes os RMs podem não ser válidos ou os ficheiros contêm informação complementar, e nestes casos o *software* elimina esta informação. Para se realizar as análises gráficas necessita-se de consultar a BD, processar a informação pretendida e finalmente apresentar os resultados em forma gráfica. As análises efectuadas podem ser diárias ou amostrais. As análises diárias representam várias amostras num gráfico, como por exemplo o "Regime Diário de Tráfego". As análises por amostra são utilizadas para avaliar as condições em que a ligação da MS à BTS é estabelecida, como por exemplo, a "Qualidade Média no Canal de Propagação".

A BTS "Recta do Cabo" está localizada na estrada nacional conhecida pelo mesmo nome, e é a única estação localizada em ambiente rural. O facto que sobressai no seu estudo é processar tráfego em Vila Franca de Xira que dista 6000 m, e onde estão localizadas BTSs que deveriam ser as preferenciais para as MSs destes subscritores. Um outro dado curioso, é não processar tráfego no tabuleiro da Ponte de Vila Franca, apesar de processar tráfego em ambas as margens.

A BTS "Viaduto" apresenta diversidade de ambientes nas suas três células. A primeira identifica através do tráfego as horas de maior engarrafamento rodoviário nas estradas de acesso a Lisboa. A segunda identifica localização do tráfego nas torres das Amoreiras e fluxo dos subscritores. A terceira identifica o fluxo de tráfego existente em Campo de Ourique e Avenida da Índia.

A BTS "Belém", devido à sua cota e posicionamento junto ao rio Tejo, processa tráfego nas duas margens e na parte norte da Ponte 25 de Abril.

A BTS "Saldanha" está localizada no centro de Lisboa, rodeada de centros comerciais e edifícios de escritórios, observando-se o fluxo dos subscritores a entrar e a saírem dos seus empregos. Esta atitude tem impacto no nível e qualidade do sinal, devido ao posicionamento dos subscritores quer no interior ou exterior de edifícios.

Na BTS "Santo António dos Cavaleiros" identifica-se um aumento de subscritores depois das 17h00 devido ao retorno a casa, no bairro com o mesmo nome da BTS e na CRIL. Através das análises gráficas observa-se que a queda de chamadas possuí uma evolução semelhante ao tráfego.

Nas áreas de dominância das células em estudo, verifica-se que o espectro rádio está bastante sobrecarregado, porque em amostras diferentes do mesmo canal rádio, as duas melhores vizinhas raramente são iguais em função da distância. Esta situação acontece porque existe uma grande imprecisão na localização das MSs, todas as células pertencem à região da Grande Lisboa, e por as MSs estarem inseridas em ambiente urbanos sofrem forte desvanecimento rápido e existe deturpação no valor do TA reportado.

As células no centro urbano de uma cidade têm a área de dominância confinada, e ao longo do dia identifica-se a migração dos subscritores através do tráfego e da ocupação do canal rádio. Neste ambiente, a maioria dos subscritores estão no interior de edifícios, portanto o nível de sinal é baixo e a qualidade é boa. A célula que melhor representa esta situação é a do "Saldanha", onde o tráfego em média se processa a uma distância inferior a 700 m.

As células junto ao rio têm uma área de dominância bastante grande, por vezes incontrolável, porque a água provoca baixa atenuação do sinal. Por esta razão, é possível que uma determinada célula esteja a dominar numa área específica sem ser, no entanto, a célula mais próxima, com bom nível de sinal e qualidade de sinal baixa. O espaço rádio destas células é bastante interferido, pois é um espaço aberto. A célula "Belém" representa estas condições, onde parte do tráfego se processa a 9000 m.

O factor de correlação entre as figuras "Evolução de Tráfego Diário" e/ou "Ocupação de Canais Diária" com a evolução do tráfego retirado do módulo estatístico do OMC é bastante bom; no caso da célula "Viaduto 1" o factor de correlação é de 0,91. Este resultado permite extrapolar algumas conclusões obtidas no canal rádio para a célula em estudo, como é o caso do tráfego ao longo do dia.

A potência usada no transmissor do canal rádio não varia apenas em função da distância, mas também da localização das MSs (com ou sem linha de vista com a BTS) e da interferência existente no canal rádio, enfim, da localização da MS e da BTS. Esta situação verifica-se em algumas amostras de BTS "Viaduto", em que a distância dos subscritores em média é inferior a 500 m, mas a potência utilizada pela BTS é máxima.

Nas figuras em que se calcula o desvio padrão de cada uma das amostras, observa-se que este por vezes atinge valores próximos de 50% do valor médio da amostra. No caso da figura "Média/Desvio Padrão da Localização do Tráfego Diário", os valores elevados do desvio padrão devem-se ao tráfego estar disperso por uma grande área.

A cobertura simulada, através da ferramenta auxiliar de planeamento, não é eficaz na determinação da área de dominância da célula, principalmente em ambientes urbanos, porque esta ferramenta não é constantemente actualizada com as alterações urbanísticas da cidade, o que influencia directamente os resultados dos modelos de propagação utilizados. Em ambientes rurais, a área de dominância da célula é credível, porque há correspondência com a localização do tráfego obtido pela ferramenta de *software* usada neste trabalho.

Em todos os ambientes estudados verifica-se que o nível e qualidade do sinal descendente é superior ao do ascendente, o que se deve à diferença da potência de transmissão entre as estações e as MSs.

Os objectivos inicialmente previstos para este trabalho foram atingidos e espera-se que o leitor/utilizador usufrua dele.

ANEXO A – CANAL RÁDIO

Neste anexo faz-se a descrição dos canais utilizados na interface rádio, referindo-se o modo como são encapsulados, com informação de controlo de erros e o seu encadeamento nas tramas.

A.1 CANAIS LÓGICOS

A troca de informação entre a MS e a BTS faz-se através da interface rádio, sendo a informação transmitida em canais de controlo e de tráfego. Estes dois tipos de canais são denominados de TCH para troca de dados e voz, e CCH para controlo e sinalização, Figura A.1.

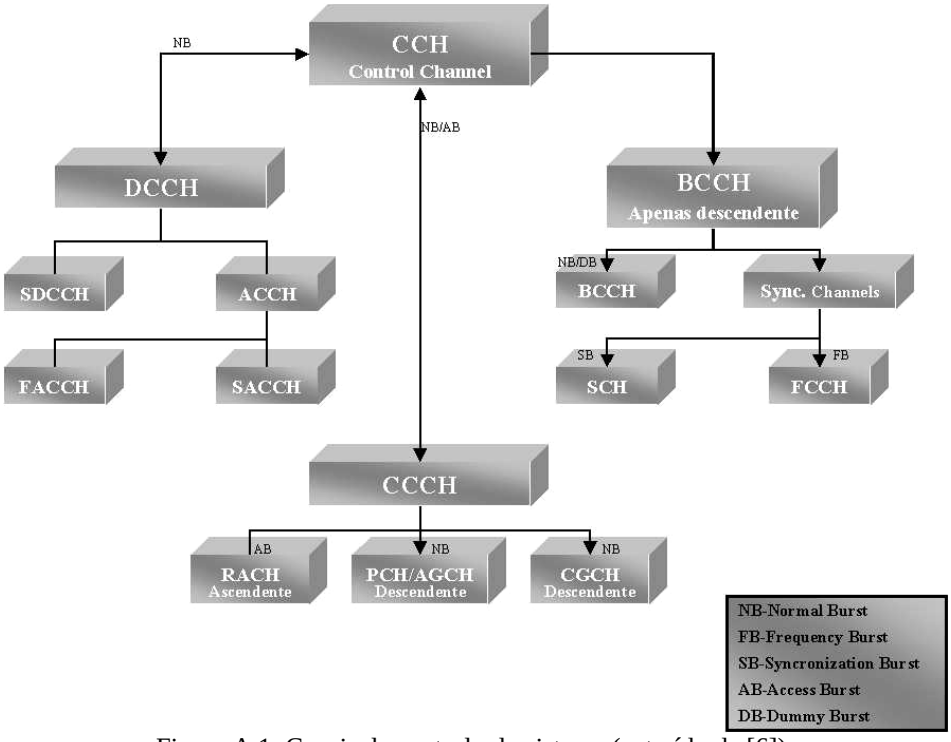

Figura A.1: Canais de controlo do sistema (extraído de [6]).

Existem três categorias de CCH: BCCH, CCCH e DCCH [10].

O grupo BCCH contempla três tipos: "**F**requency **C**orrection **Ch**annel" (FCCH) – destina-se a facilitar o sincronismo da frequência entre a MS e a BTS, e é equivalente ao canal rádio não modulado com um determinado desvio da frequência nominal da portadora; "**S**ynchronisation **Ch**annel" (SCH) – permite o sincronismo com o TS pretendido, e também transporta o número de TS atribuído à MS, "**F**rame **N**umber" (FN), e a identificação da estação base BSIC; informação genérica – quando o BCCH não transporta os canais FCCH ou SCH, então transporta informação genérica como o número de CCCH, desde que estes estejam associados no mesmo canal físico com o SDCCH e com o ACCH. Em cada célula existe sempre um TS atribuído ao BCCH. O BCCH é constantemente transmitido, com potência fixa, e é usado pelas MSs para a geração de medidas que servem para a elaboração dos RM.

O grupo CCCH também contempla quatro tipos de canais: PCH – usado quando a rede pretende contactar a MS como, por exemplo, quando pretende iniciar uma chamada para uma MS; RACH – usado apenas pela MS quando pretende acesso à rede para iniciar uma chamada, ou seja, requisita à rede a atribuição de um "**S**tand Alone **D**edicated **C**ontrol

Channel" (SDCCH) (dado que existem várias MSs na área de cobertura de uma BTS, o acesso ao RACH é feito usando a técnica de *Sloted Aloha);* AGCH – usado pela BTS para informar a MS, após requisição da MS via RACH, de qual o SDCCH ou TCH atribuído; CBCH – usado pela BTS para transmitir informação para todos as MSs da sua área.

O grupo dos DCCH possui dois subgrupos. O primeiro, o SDCCH: SDCCH/4 ou SDCCH/8 – 4 ou 8 subcanais usados para atribuir os serviços requisitados respectivamente. Este procedimento envolve o pedido da MS dos serviços, resposta da BTS da sua disponibilidade para tal, e atribuição de canais de tráfego disponíveis. O segundo, o "**A**ssociated **C**ontrol **Ch**annel" (ACCH), em que existem dois tipos: "**F**ast **A**ssociated **C**ontrol **Ch**annel" (FACCH) – usado em acções rápidas, tais como comandos de HO ou nova atribuição de canais (HO intra célula). O FACCH está associado a canais de tráfego em *Full Rate* (FACCH/F), o FACCH é transmitido "roubando" o TS ao próprio canal de tráfego resultando na degradação da qualidade do tráfego, que pode eventualmente ser ouvido sob forma de *click;* e o SACCH – na ligação célula-MS, a BTS dá indicações sobre a potência de emissão da MS. Por sua vez, a MS responde a este comando devolvendo o RM.

A.2 MAPEAMENTO DOS CANAIS LÓGICOS NA TRAMA

A.2.1 Mapeamento dos canais de voz

O codificador de voz incorporado nas MSs é denominado de "**R**egular **P**ulse **E**xcited Codec with **L**ong **T**erm **P**rediction" (RPE-LTP).[10] Este codificador de*bit*a os sinais de voz a um ritmo de 13 Kbps, ou seja, 260 *bits* por cada 20 ms de voz que estão divididos em três classes: classe 1a de 50 *bits*, classe 1b de 132 *bits* e classe 2 de 78 *bits*, como descrito na Figura A.2. Na codificação da classe 1a são adicionados três *bits* de paridade e este conjunto é adicionado ao bloco 1b e a três *bits* terminadores; este novo bloco é codificado com um "**C**ódigo **C**onvolucional" (CC) (2,1,5), e ao resultado é adicionado o bloco de *bits* de classe 2. O resultado é um conjunto de 456 *bits* de tamanho que é então subdivido em 8 blocos iguais de 57 *bits* de tamanho; a cada um deles é adicionado um *bit* perfazendo um total de 58 *bits*. Este *bit* é modificado em função de o bloco de 57 *bits* seja referente a TCH ou a FACCH. Estes conjuntos de 58 *bits* são então enquadrados num TS, Figura A.3. Os TSs são também normalmente referidos como *Burst*.

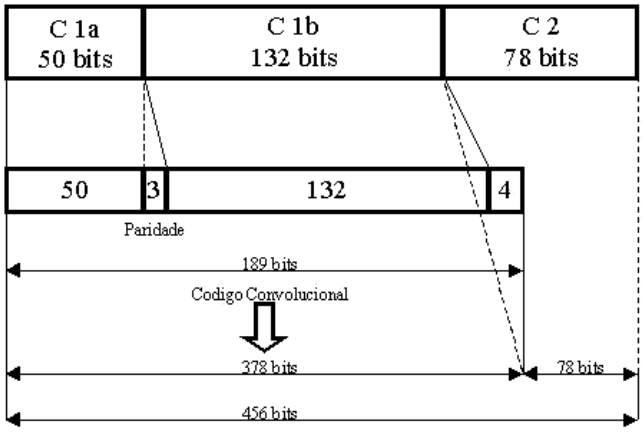

Figura A.2: Mapeamento do canal de voz (extraído de [10]).

O receptor pode apenas receber e descodificar o *Burst* se estiver contido no TS que lhe é destinado. A estrutura do *Burst* possui "Período de Guarda" de 8,25 *bit*, que cobre eventuais flutuações e atrasos de propagação não compensados pelo TA, Figura A.3.

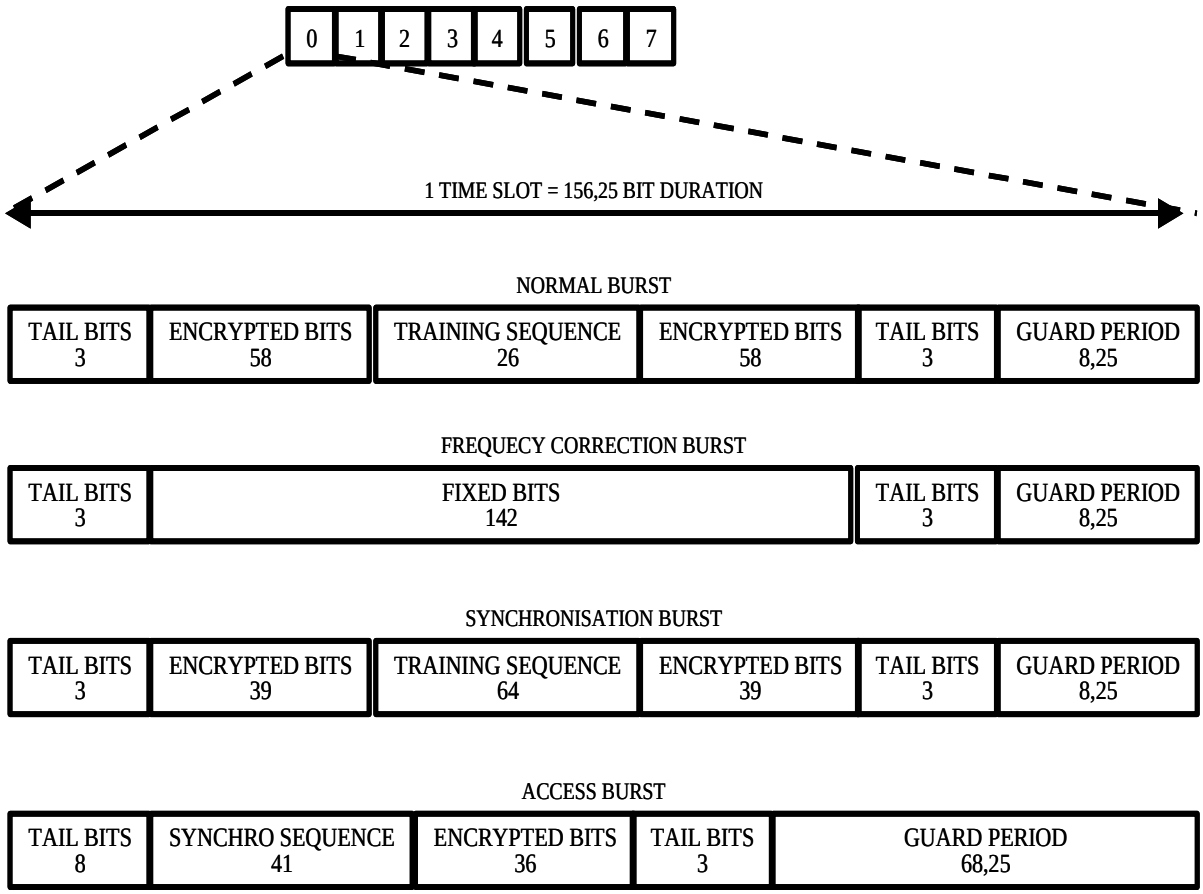

Figura A.3: *Burst* usado no sistema (extraído de [10]).

O "Burst Normal" é usado para o mapeamento do TCH, voz ou dados, e para todo o tipo de canais de controlo. Os 3 *bits* no início e fim deste *Burst* são usados para anular a memória do Equalizador de Viterbi e os 26 *bits* da "Sequência de Treino" são usados pelo equalizador do receptor para estimar as características de transferência do canal de propagação. O TS da trama TDMA tem a duração de 0,577 ms enquanto que a duração do *Burst* é de 0,546 ms, Figura A.3.

O "Burst de Correcção de Frequência" transporta no canal FCCH, sentido descendente, informação para corrigir a frequência do oscilador local da MS, isto para que esta se sincronize com a da BTS, Figura A.3.

O "Burst de Sincronização" transporta no canal SCH, sentido descendente, informação para sincronização temporal entre a MS e a BTS, Figura A.3.

O "Burst de Acesso" faz a avaliação correcta da distância entre a MS e a BTS, este *Burst* tem um período de guarda, sem informação, de 68,25 *bits*, o equivalente 252 μs de atraso (~70 km). Efectuada a avaliação da distância, é comunicado à MS o valor de TA, que é o tempo de avanço com que a MS tem de enviar os TSs para que, à chegada à BS, estejam correctamente enquadradas com os restantes TSs de outras MSs, Figura A.3.

Cada TS que é emitido por uma MS ou BTS é enquadrado num conjunto de 8 TS a que se dá o nome de trama TDMA; assim uma trama TDMA contém 2/8 de informação referente a TCH ou FACCH de um total de 8 chamadas telefónicas. As tramas TDMA são então enquadradas em agrupamentos de 26 que tem o nome de multitrama; nesta, a 26ª trama TDMA está vazia e a 13ª contém o canal SACCH referente a estas 8 chamadas telefónicas. Estas são iguais no sentido ascendente e descendente, Figura A.4.

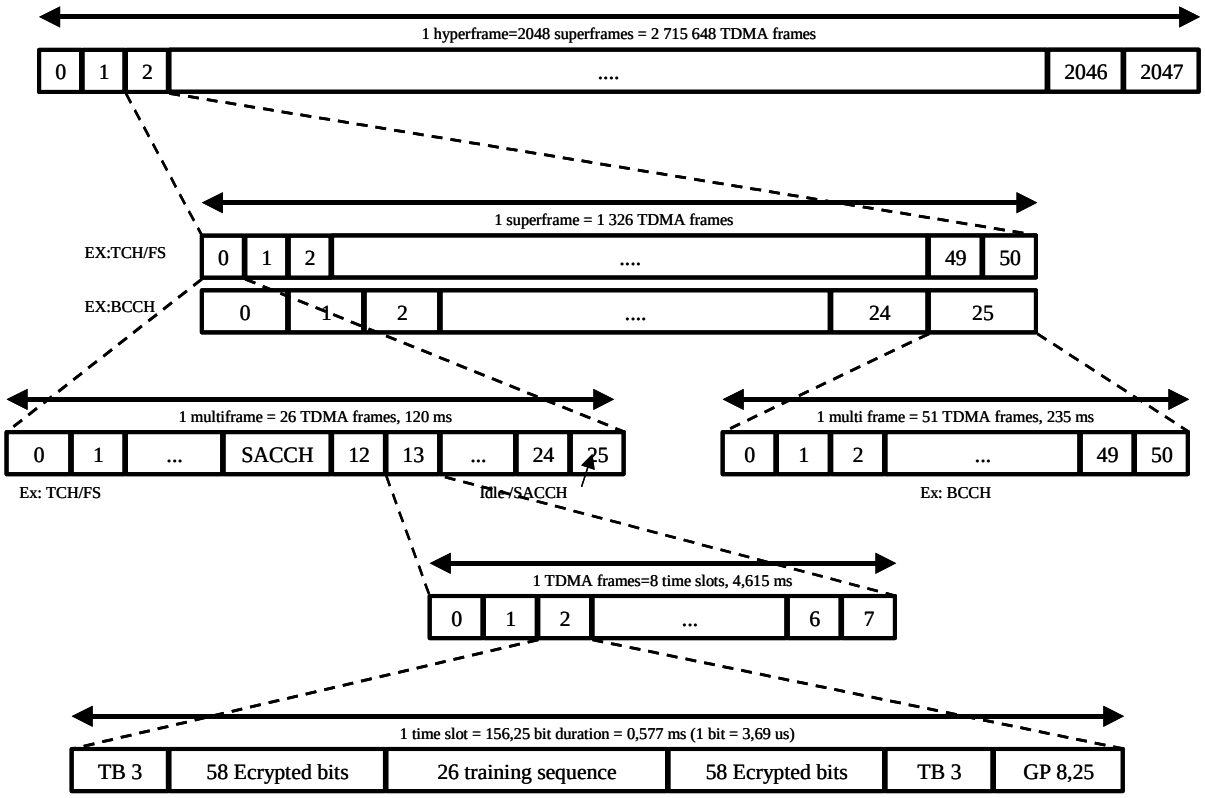

Figura A.4: Estrutura TDMA (extraído de [10]).

A.2.2 Mapeamento dos canais Controlo/ Sincronismo:

A construção destes canais é diferente da construção dos canais TCH embora o seu comprimento final também tenha 456 *bits*. Este facto possibilita que o canal FACCH possa facilmente ser enquadrado da mesma forma que um TCH, bastando para isso alterar o *bit* indicador como foi referido. Da mesma forma, canal SACCH pode ser colocado na 13ª posição da multitrama e contém a informação referente às 8 chamadas telefónicas em curso.

A informação útil dos canais SACCH, FACCH, BCCH, SDCCH, PCH e AGCH tem 184 *bits* de tamanho. A estes 184 *bits* são adicionados 40 de paridade e 4 *bits* de terminação. Este novo bloco é codificado com um código convolucional CC(2,1,5), ficando assim com o comprimento total de 456 *bits*. Para que possam ser colocados da mesma forma que um TCH, os blocos de 456 *bits* são igualmente divididos em 8 blocos de 57 *bits*, para poderem seguir o mesmo procedimento que os TCH anteriormente referido, Figura A.5.

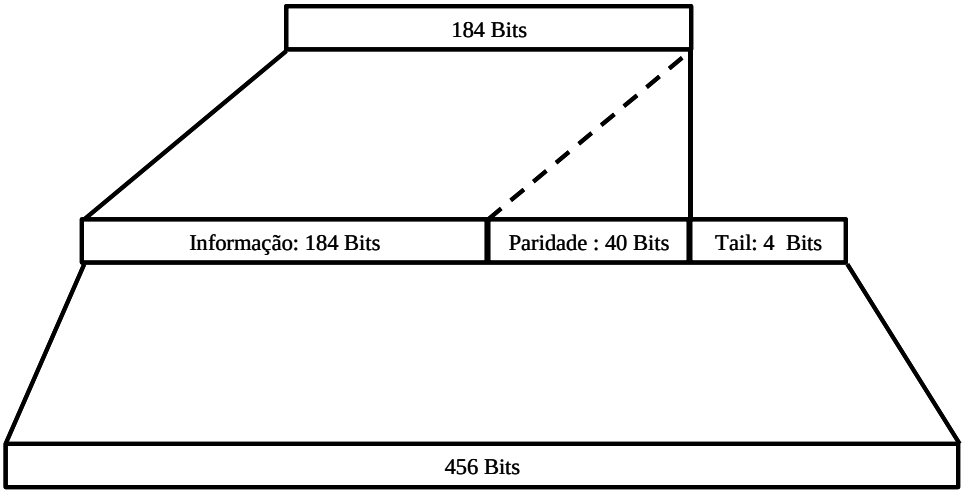

Figura A.5: Mapeamento dos canais SACCH, FACCH, BCCH, SDCCH, PCH e AGCH (extraído de [10]).

Relativamente aos restantes canais, estes são mapeados numa multitrama de 51 TDMA, que são diferentes caso sejam no sentido ascendente ou descendente. No caso ascendente é usado pela MS quando requer um canal SDCCH e acesso a um canal TCH disponível. Esta requisição é feita enviando o canal RACCH. Este canal tem o mapeamento no TS denominado de *Access Burst* da Figura A.3 e ocupa o TS zero da multitrama TDMA.

O sistema GSM permite a operação de MSs até aproximadamente 35 km de distância da BS. Como tal, quando a MS emite um RACCH ou existe HO, a BS avalia a distância da MS por comparação do tempo de atraso do "Burst de Acesso".

Relativamente ao sentido descendente o mapeamento é mais complexo: Na primeira trama TDMA, TS zero, é colocado o canal FCCH com a descrição da Figura A.3, na segunda é colocado o canal SCCH, igualmente no TS zero. As próximas quatro tramas TDMA são ocupados pelo canal BCCH, igualmente alojados no TS zero, e finalmente, as últimas quatro são ocupadas pelo canal PCH ou pelo canal AGCCH, sempre no TS zero. Este grupo de 10 tramas TDMA repetem-se 5 vezes com a excepção de que não são emitidos os 4 canais BCCH, mas sim 4 canais PCH ou AGCCH. A 51ª trama TDMA está vazia, Figura A.6.

Relativamente aos restantes TS, de 1 a 7, estes podem ser usados pelos canais TCH. Um canal rádio que não tenha associado um canal de controlo, usa os oito TS disponíveis para alojar TCH com mapeamento de multitrama de 26 tramas TDMA, ao passo que um canal rádio com CCH associado pode ter até sete TS para canais TCH, e um TS (o de número zero) com os canais CCH e tem o mapeamento de multitrama com 51 tramas TDMA, Figura A.6.

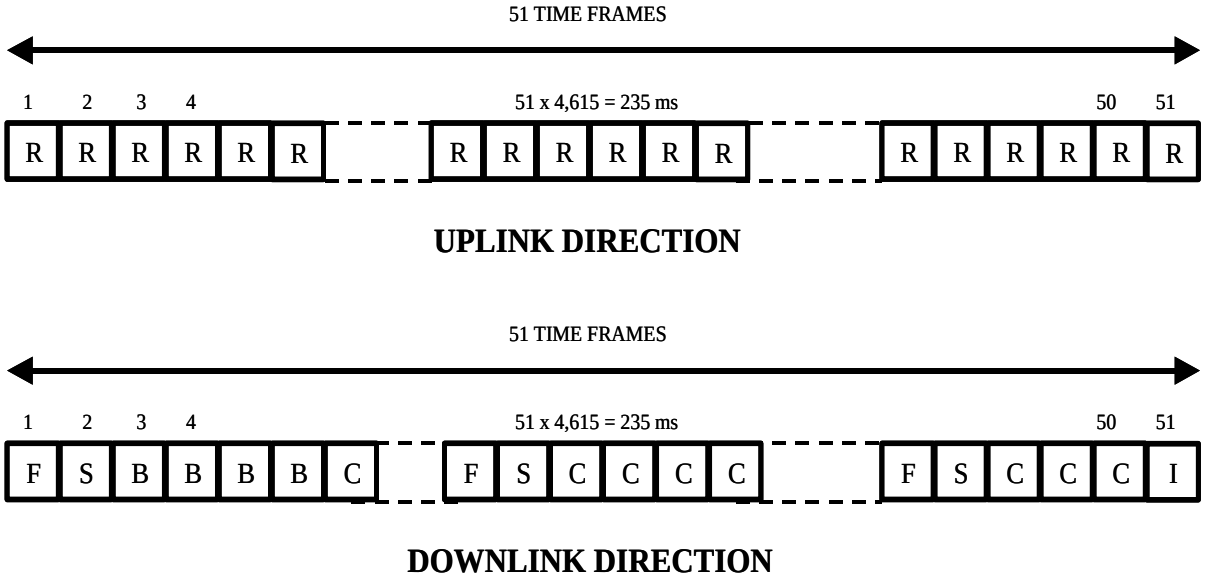

Figura A.6: Mapeamento da multitrama de 51 tramas TDMA (extraído de [10]).

A.3 EQUALIZADOR DE VITERBI

Este equipamento está incorporado tanto do lado da MS como das BS, tem como objectivo minimizar o sinal resultante dos multipercursos existentes no canal de propagação. No caso do meio rural, em que os elementos geradores de reflexões da onda são mínimos, praticamente não há necessidade deste. No entanto, nos meios urbanos, a quantidade de ondas reflectidas é grande e há necessidade destas serem eliminadas pois são geradoras de erros na transmissão dos dados. Para proceder à eliminação destes erros, o equalizador serve-se da sequência de treino de 26 *bits* que está inserida no TCH. Esta sequência, que é conhecida, é usada por comparação com a recebida para se detectar os erros de transmissão. Então, a chave de correcção é aplicada às duas sequências de 58 *bits*. As diferenças encontradas são então usadas para estimar um factor de erro por *bit*, BER, calculado antes da descodificação do sinal.

ANEXO B – RELATÓRIO DE MEDIDA

Este anexo faz a descrição pormenorizada das mensagens que constituem o "**M**easurement **R**eport" (MR). O MR é apresentado na Tabela B.1.

Tabela B.1: Relatório de Medida.

	8	7	6	5	4	3	2	1	
Discriminador de Mensagem	G7	G6	G5	G4	G3	G2	G1	T	1
Tipo de Mensagem	EM	MESSAGE TYPE							1
Número de Canal	ELEMENT IDENTIFIER								1
	C5	C4	C3	C2	C1	**Time-Slot Number**			2
Número de RM	ELEMENT IDENTIFIER								1
	MEASUREMENT RESULT NUMBER								2
Medidas Ascendentes	ELEMENT IDENTIFIER								1
	LENGTH								2
	Rfu	**DTXu**	**RXLEV_FULL_UP**						3
	RESERVED		**RXLEV_SUB_UP**						4
	RESERVED		**RXQUAL_FULL_UP**			**RXQUAL_SUB_UP**			5
	SUPLEMENTARY MEASUREMENT INFORMATION								6 . N
Potência da BS	ELEMENT IDENTIFIER								1
	RESERVED			**POWER LEVEL**					2
Informação L1	ELEMENT IDENTIFIER								1
	MS POWER LEVEL					RESERVED			2
	ACTUAL TIMING ADVANCE						RESERVED		3
Informação L3	ELEMENT IDENTIFIER								1
	LENGTH INDICATOR								2 3
	TRANSACTION IDENTIFIER				PROTOCOL DISCRIMINATOR				4
	MESSAGE TYPE								5
	BA used	**DTX used**	**RXLEV-FULL-SERV-CELL**						6
	Spare	**MEAS VALID**	**RXLEV-SUB-SERV-CELL**						7
	Spare	**RQUAL-FULL-SERV-CELL**			**RQUAL-SUB-SERV-CELL**			**NO-CELL-M (Ms)**	8
	NO-CELL-M (ms)	**RXLEV-NCELL 1**							9
	BCCH-FREQ-NCELL 1						**BSIC -NCELL 1 (Ms)**		10
	BSIC –NCELL 1 (ms)			**RXLEV-NCELL 2 (Ms)**					11
	RXLEV-NCELL 2 (ms)	**BCCH-FREQ-NCELL 2**					**BSIC -NCELL 2 (Ms)**		12
	BSIC –NCELL 2 (ms)				**RXLEV-NCELL 3 (Ms)**				13
	RXLEV-NCELL 3 (ms)	**BCCH-FREQ-NCELL 3**						**BSIC -NCELL 3 (Ms)**	14
	BSIC -NCELL 3 (ms)					**RXLEV-NCELL 4 (Ms)**			15
	RXLEV-NCELL 4 (ms)			**BCCH-FREQ-NCELL 4**					16
	BSIC –NCELL 4						**RXLEV-NCELL 5 (Ms)**		17
	RXLEV-NCELL 5 (ms)				**BCCH-FREQ-NCELL 5 (Ms)**				18
	BCCH-FREQ-NCELL 5 (ms)	**BSIC -NCELL 5**						**RXLEV-NCELL 6 (Ms)**	19
	RXLEV-NCELL 6 (ms)					**BCCH-FREQ-NCELL 6 (Ms)**			20
	BCCH-FREQ-NCELL 6 (ms)	**BSIC –NCELL 6**							21
MS *Timing Offset*	ELEMENT IDENTIFIER								1
	TIMING OFFSET								2

O MR é enviado da BTS para a BSC pela sequência de mensagens apresentadas ao longo do anexo. A descrição das mensagens e o preenchimento dos seus campos obtêm-se através da Norma GSM, ETSI [8].

A transmissão e sequência de *bits* e *Byte*s nas mensagens de identificação seguem as mesmas normas. As normas são as seguintes:

Tabela B.2: *Byte* de dados.

8	7	6	5	4	3	2	1

- cada posição de *bit* é numerada de 1 a 8;
- a primeira transmissão é a do *bit* menos significativo, seguindo-se os outros *bits* 2, 3, 4, etc;
- numa mensagem de identificação os octetos são numerados, sendo transmitidos por ordem crescente da sua numeração;
- quando um campo da mensagem possui mais do que 1 octeto, a ordem do valor dos *bits* decresce progressivamente à medida que a numeração dos octetos aumenta. O *bit* menos significativo do campo é representado pela numeração de *bit* mais baixa e pelo octeto com a numeração mais elevada do campo;
- para mensagens de identificação com tamanhos diferentes, o número de octetos que a constituem não é constante, é incluído na mensagem um campo com a sua dimensão, isto é, um campo que indica o número de octetos na mensagem;
- Os *bits* vagos ou os de reserva quando não são utilizados são colocados a zero.

- **DISCRIMINADOR DE MENSAGEM**

Esta mensagem de informação discrimina a origem da mensagem; neste caso a origem é de um canal dedicado, mais concretamente o canal SAACH, que é igualmente considerada como mensagem transparente para o sistema, Tabela B.3.

Tabela B.3: "Message Discriminator".

8	7	6	5	4	3	2	1	
G7	G6	G5	G4	G3	G2	G1	T	1

Bits de G7 a G1

Este campo indica qual o canal que transporta a mensagem, para o canal SAACH os *bits* G1 a G7 contêm a seguinte sequência de *bits*: 0000100.

Bit T

Este indica se a mensagem é transparente.

*Bit*_T = 0 $\Rightarrow$ mensagem não transparente.

*Bit*_T = 1 $\Rightarrow$ mensagem transparente.

- **TIPO DE MENSAGEM**

Esta mensagem de informação identifica qual o tipo de relatório que está a ser enviado, Tabela B.4

Tabela B.4: "Message Type".

8	7	6	5	4	3	2	1	
EM	MESSAGE TYPE							1

MESSAGE TYPE

Este campo define o tipo de mensagem, caso a mensagem seja um MR este campo contém a seguinte sequência de *bits*: 0101000.

Bit EM

Bit reservado para uso futuro.

- **NÚMERO DE CANAL**

Esta mensagem de informação identifica o tipo de canal em que o RM foi transportado (SACCH) e o respectivo TS, Tabela B.5.

Tabela B.5: "Channel Number Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
C5	C4	C3	C2	C1	TN			2

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00000001.

Bits C5 a C1

Este campo indica que o MR foi transportado num canal SACCH, portanto a sequência de *bits* é: 00001.

TN ("**T**ime-Slot **N**umber")

Este campo identifica qual é o TS que está a ser usado para a troca de informação entre a MS e a BTS codificado em módulo 8, este campo é mapeado conforme a Tabela B.6.

Tabela B.6: Número do TS.

Bits	321	TS
	000	0
	001	1
	010	2
	.	
	.	
	110	6
	111	7

- **NÚMERO DE RELATÓRIOS DE MEDIDA**

Esta mensagem de informação é usada pela BTS para numerar, por canal, os MRs que são enviados, Tabela B.7.

Tabela B.7: "Measurement Result Number Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
MEASUREMENT RESULT NUMBER								2

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00011011.

MEASUREMENT RESULT NUMBER

Este campo é em módulo 256. Quando um determinado canal é activado, o seu valor é posto a zero.

- **MEDIDAS ASCENDENTES**

Esta mensagem de informação é o resultado das medidas efectuadas pelo transreceptor da BTS, referentes a um canal rádio, TS, no sentido ascendente. Estas medidas são usadas para critérios de controlo de potência e nos processos de HO. O tamanho desta mensagem é variável, Tabela B.8.

Tabela B.8: "Uplink Measurements Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
LENGTH								2
Rfu	DTXd	RXLEV_FULL_UP						3
RESERVED		RXLEV_SUB_UP						4
RESERVED		RXQUAL_FULL_UP			RXQUAL_SUB_UP			5
SUPLEMENTARY MEASUREMENT INFORMATION								6 . . . N.º

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00011001.

LENGTH

Este campo indica o número de octetos que constituem esta mensagem, porque esta é de tamanho variável. Neste caso, este campo indica os octetos existentes entre o 3º e o N.º.

rfu

Bits reservados para uso futuro.

RESERVED

Bits reservados para uso futuro. As entidades que podem usar estes *bits* são Operadores, fabricantes ou ETSI.

SUPLEMENTARY MEASUREMENT INFORMATION

Octetos utilizados pelos Operadores.

DTXd

Este *bit* indica se a BTS utiliza descontinuidade de transmissão durante o período de medida e desta forma sabe-se que tipo de medida se utiliza para os algoritmos, isto é, "Full"

ou "Sub". O subscritor detecta a presença deste parâmetro da rede através da existência do "Ruído de Conforto".

*Bit*_DTXd = 0 ⇒ não existe descontinuidade na transmissão, portanto a medida considerada é *Full*.

*Bit*_DTXd = 1 ⇒ existe descontinuidade na transmissão, existe Ruído de Conforto, portanto a medida considerada é *Sub*.

RXLEV_SUB_UP e RXLEV_FULL_UP

Este campo identifica a média do nível do sinal ascendente, estas medidas são efectuadas pelo transreceptor da BTS durante todo o período de medida em todos os TSs existentes.

As medidas RXLEV_FULL são efectuadas num canal *full rate* e são baseadas em 104 tramas TDMA. As medidas RXLEV_SUB são efectuadas num canal em modo DTX e são baseadas em 12 tramas TDMA. Estas medidas são efectuadas dos –110 dBm até aos –48 dBm, com uma precisão de ±4 dBm dos –110 dBm aos –70 dBm em condições normais, e com uma precisão de ±6 dBm em todo o intervalo em condições extremas. As "condições normais" ou "condições extremas" estão relacionadas com o modo como as estações estão a funcionar, quer em termos de temperatura humidade relativa, potência de alimentação, etc. (para mais pormenor consultar publicações IEC 62-2-1 e 68-2-2). Refira-se, apenas como exemplo, as condições normais em tempos de temperatura é de +15º C a +35º C com humidade relativa de 25 % a 75 %.

As medidas do nível de sinal estão mapeadas entre 0 e 63, conforme a Tabela 3.2.

A MS e a BTS não têm necessidade de medir o nível de sinal abaixo da referência de sensibilidade. No caso dos valores medidos estarem acima ou abaixo do intervalo definido, os valores tomados são os extremos do intervalo. Os parâmetros reportados (RXLEV) devem ser a média das medidas do nível de sinal recebido em dBm durante o período de uma multitrama SACCH. As medidas efectuadas antes deste período não são contabilizadas.

Quando a MS está alocada a um TCH ou a um SDCCH, esta deve fazer uma medida do sinal recebido:

- Em todas as tramas TDMA no menor BCCH detectado do "**B**CCH **A**llocation" (BA), uma após a outra. Opcionalmente, as medidas efectuadas em mais de 4 tramas na multitrama SACCH devem ser omitidas;
- Em todos os *Burst* associados ao canal físico, incluindo os do SACCH. Se a FH está a ser utilizada em associação com o canal físico e se no "BCCH Cell Options" o "Power Control Indicator PWRC" está definido, as medidas dos *Burst* do BCCH não devem ser utilizadas na média do nível de sinal, isto é, no RXLEV.

Em todos os canais TCH ou SDCCH atribuídos a uma MS, a BSS deve fazer a medida do nível dos sinais recebidos associados ao canal físico, incluindo aqueles do SACCH, mas excluindo os TSs em modo de espera. Este procedimento está sempre activo, a não ser que o Operador não o solicite.

RXQUAL_SUB_UP e RXQUAL_FULL_UP

Este campo é a média da qualidade do sinal ascendente, estas medidas são efectuadas pelo transreceptor da BTS, durante todo o período em todos os TSs existentes. Estas medidas estão mapeadas conforme as Tabelas 3.3 e 3.4.

Para a qualidade do sinal são considerados todos os *Burst*, quer seja no TCH, SACCH ou no BCCH. Os valores de BER usados para definir a qualidade da banda são estimados antes da descodificação do sinal, e existem três condições para efectuar as medidas:

- canal *full rate;*
- canal *half rate;*
- em modo DTX.

Os Operadores portugueses usam somente o canal em *full rate* e/ou modo DTX.

- **POTÊNCIA DA BS**

Esta mensagem de informação indica o nível de potência de transmissão do transreceptor da BTS num canal físico, Tabela B.9.

Esta facilidade é decidida pelo Operador, ou seja, é um parâmetro.

Tabela B.9: "BS Power Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
RESERVED				POWER LEVEL				2

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00000100.

RESERVED

Bits reservados para uso futuro. As entidades que podem usar estes *bits* são Operadores, fabricantes ou ETSI.

POWER LEVEL

Este campo indica o número de níveis (cada nível é 2 dB) de redução de potência do seu valor nominal, Pn. O valor nominal é definido pelo Operador para ajustar a cobertura, ou seja, define a potência de transmissão das portadoras da BTS de acordo com a sua classe de transmissão. As medidas de "Power Level" são mapeadas em 15 níveis de 2 dB com uma tolerância de±1,5 dB, conforme a Tabela 3.6. A máxima potência das portadoras da BTS (apenas para as Macro Células) é definida de acordo com as suas classes, como se apresenta na Tabela B.10.

Tabela B.10: Potência máxima das portadoras da BTS.

Classe de Transmissão da BTS GSM 900	Potência Máxima de Transmissão [W]
1	320 < < 640
2	160 < < 320
3	80 < < 160
4	40 < < 80
5	20 < < 40
6	10 < < 20
7	5 < < 10
8	2,5 < < 5

Classe de Transmissão da BTS GSM 1800	Potência Máxima de Transmissão [W]
1	20 < < 40
2	10 < < 20
3	5 < <10
4	2,5 < < 5

- **INFORMAÇÃO L1**

Esta mensagem de informação indica a informação que as multitramas SACCH transportam, Tabela B.11.

Tabela B.11: "L1 Information Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
MS POWER LEVEL					RESERVED			2
ACTUAL TIMING ADVANCE						RESERVED		3

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00001010.

RESERVED

Bits reservados para uso futuro. As entidades que podem usar estes *bits* são Operadores, fabricantes ou ETSI.

MS POWER LEVEL

Esta campo indica o nível de potência de transmissão da MS. Esta facilidade é decidida pelo Operador, de acordo com as Tabelas B.12 e B.13.

A indicação de controlo de potência na MS é enviada no canal descendente em todas as mensagens SACCH, ou então numa trama de sinalização dedicada (DCCH). A MS confirma o seu controlo de potência no canal ascendente no SACCH, o valor indicado deve ser o controlo de potência utilizado no ultimo *Burst*, antes desta informação ser enviada no canal ascendente.

Tabela B.12: Níveis de "MS Power Level" para GSM 900.

NÍVEL " MS POWER LEVEL"	POTÊNCIA MÁXIMA [dBm]	Tolerância [dB]	
		Condições Normais	Condições Extremas
0	-	- -	- -
1	-	- -	- -
2	39	± 2	± 2,5
3	37	± 3	± 4
4	35	± 3	± 4
5	33	± 3	± 4
6	31	± 3	± 4
7	29	± 3	± 4
8	27	± 3	± 4
9	25	± 3	± 4
10	23	± 3	± 4
11	21	± 3	± 4
12	19	± 3	± 4
13	17	± 3	± 4
14	15	± 3	± 4
15	13	± 3	± 4
16	11	± 5	± 6
17	9	± 5	± 6
18	7	± 5	± 6
19	5	± 5	± 6

A MS pode usar esta opção em todos os tipos de *Burst* e no TCH (incluindo o "Handover Access Burst"), FACCH, SACCH ou SDCCH.

A mensagem de informação que é enviada no SACCH com a informação da potência de transmissão da MS, tem a forma da Tabela B.14.

Tabela B.13: Níveis de "MS Power Level" para GSM 1800.

NIVEL "MS POWER LEVEL"	POTÊNCIA MÁXIMA [dBm]	Tolerância [dB]	
		Condições Normais	Condições Extremas
29	36	± 2	± 2,5
30	34	± 3	± 4
31	32	± 3	± 4
0	30	± 3	± 4
1	28	± 3	± 4
2	26	± 3	± 4
3	24	± 3	± 4
4	22	± 3	± 4
5	20	± 3	± 4
6	18	± 3	± 4
7	16	± 3	± 4
8	14	± 3	± 4
9	12	± 4	± 5
10	10	± 4	± 5
11	8	± 4	± 5
12	6	± 4	± 5
13	4	± 4	± 5
14	2	± 5	± 6
15	0	± 5	± 6

Tabela B.14: "Power Level Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
RESERVED				POWER LEVEL				2

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00001100.

RESERVED

Bits reservados para uso futuro. As entidades que podem usar estes *bits* são Operadores, fabricantes ou ETSI.

As classes das MS são definidas no GSM de acordo com o pico de potência transmitida, para minimizar a interferência co-canal e o consumo da MS, mas de forma a manter uma qualidade de sinal aceitável. As potências de transmissão podem ser ajustadas em passos de 2 dBm, desde a potência máxima de saída até ao mínimo de 13 dBm (equivale a 20 mW para a MS).

ACTUAL TIMING ADVANCE

Este campo indica a distância que percorre o sinal entre a MS e a BTS, e é para compensar o atraso de propagação que existe no canal ascendente com o objectivo da MS se

sincronizar. E, se necessário, corrigir a sua frequência Standard para estar sincronizada com a BSS. As medidas de TA estão definidas na Tabela 3.5.

A distância entre a MS e a BTS determina o tempo de propagação dos *Burst* entre as duas estações. A pequena duração de cada *Burst* torna necessário uma grande precisão sobre o instante em que é recebido e transmitido. Para se conseguir gerir o sistema é necessário proceder a correcções temporais a cargo da MS. A distância entre a MS e a BTS é medida e usada pela BTS para calcular o TA que a MS deve usar para transmissão. Quanto mais longe a MS estiver da BTS, mais cedo deve transmitir o *Burst* de modo a que este chegue no momento correcto.

A informação sobre o TA é enviada pela MS para a BTS em cada 480 ms, usando para tal o SACCH.

As tramas enviadas pela BSS para a MS com a informação do TA são: *Burst* de correcção de frequência e *Burst* de sincronização. A mensagem enviada tem a seguinte formato, Tabela B.15.

Tabela B.15: "Timing Advance Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
RESERVED		TIMING ADVANCE						2

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00011000.

RESERVED

Bits reservados para uso futuro. As entidades que podem usar estes *bits* são Operadores, fabricantes ou ETSI.

TIMING ADVANCE

A codificação deste campo é feita em binário e representa períodos de *bit*; 1 período de *bit* = 48/13 μs.

O valor de "DISTANCE" (percurso entre a BTS-MS-BTS) é obtido por intermédio do parâmetro de TA que corresponde ao atraso de propagação que pode variar até 232,6 μs, ou seja, indicação de avanço de TS até 63 *bits* vezes 3,69 μs p/*bit* que é igual a 232,6 μs. O valor "DISTANCE" está então compreendido entre 0 e ~70 km com intervalos de ~1 km.

- **INFORMAÇÃO L3**

Esta mensagem de informação contém todas as medidas efectuadas pela MS, quer em relação à célula que a está a servir como as seis melhores vizinhas. A dimensão desta mensagem é no máximo de 21 octetos, Tabela B.16.

Tabela B.16: "L3 Information Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
LENGTH INDICATOR								2 3
LINK LAYER SERVICE DATA UNIT								4 . . N

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00001011.

LENGTH INDICATOR

Este campo indica o número de octetos que constituem esta mensagem, porque esta é de tamanho variável. Nesta caso, este campo indica os octetos existentes entre o 4º e o N.º.

LINK LAYER SERVICE DATA UNIT

Todas as mensagens transmitidas no canal descendente (CCCH, SCH, RACH e HO Access), com excepção das mensagens enviadas no BCCH, são s*tandards* da mensagem L3, Tabela B.17.

Tabela B.17: "Link Layer Service Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
SKIP INDICATOR				PROTOCOL DISCRIMINATOR				1
	MESSAGE TYPE							2
OTHER INFORMATION ELEMENT AS REQUIRED								3 . N

PROTOCOL DISCRIMINATOR

Este campo indica o tipo de protocolo que se utiliza. Existem três opções, conforme a Tabela B.18. Portanto, no caso de "L3 Information" o valor deste campo é: 0110.

Tabela B.18: "Protocol Discriminator".

Bits	4321	
	0011	"Call Control"
	0101	Mensagens "Mobility Manegement"
	0110	Mensagens "Radio Resource"

SKIP INDICATOR

Uma mensagem recebida com este campo diferente de 0000 deve ser ignorada. Uma entidade de protocolo que envia uma mensagem "Radio Resource" ou "Mobility Manegement" deve ser codificada em 0000 (é o caso de "L3 Information").

MESSAGE TYPE

Este campo define o tipo de mensagem que se utiliza no protocolo "Radio Resource", protocolo "Mobility Manegement" e no protocolo "Call Control". Portanto, em "L3 Information" este campo é codificado em 00010101. O oitavo *bit* deste octeto é reservado para uso futuro. E, o sétimo *bit* deste octeto é usado para enviar uma sequência de mensagens, isto no canal ascendente (em mensagens enviadas pela rede este *bit* tem o valor 0).

OTHER INFORMATION ELEMENT AS REQUIRED

A finalidade deste campo é enviar as medidas efectuadas pela MS da célula em que se encontra e das células vizinhas, Tabela B.19.

Tabela B.19: "Other Information Element as Required Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
MEASUREMENT RESULT IEI								1
BA used	DTX used	RXLEV-FULL-SERV-CELL						2
Spare	MEAS VALID	RXLEV-SUB-SERV-CELL						3
Spare	RQUAL-FULL-SERV-CELL			RQUAL-SUB-SERV-CELL			NO-CELL-M Ms	4
NO-CELL-M ms		RXLEV-NCELL 1						5
BCCH-FREQ-NCELL 1					BSIC -NCELL 1 Ms			6
BSIC –NCELL 1 ms			RXLEV-NCELL 2 Ms					7
RXLEV-NCELL 2 ms	BCCH-FREQ-NCELL 2				BSIC -NCELL 2 Ms			8
BSIC –NCELL 2 ms				RXLEV-NCELL 3 Ms				9
RXLEV-NCELL 3 ms		BCCH-FREQ-NCELL 3					BSIC -NCELL 3 Ms	10
BSIC -NCELL 3 ms					RXLEV-NCELL 4 Ms			11
RXLEV-NCELL 4 ms			BCCH-FREQ-NCELL 4					12
BSIC -NCELL 4						RXLEV-NCELL 5 Ms		13
RXLEV-NCELL 5 ms				BCCH-FREQ-NCELL 5 Ms				14
BCCH-FREQ-NCELL 5 ms	BSIC -NCELL 5						RXLEV-NCELL 6 Ms	15
RXLEV-NCELL 6 ms					BCCH-FREQ-NCELL 6 Ms			16
BCCH-FREQ-NCELL 6 ms	BSIC -NCELL 6							17

MEASUREMENT RESULT IEI

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00101000.

SPARE

Bits reservados para uso futuro.

BA_USED

A MS após a escolha da célula de serviço, inicia o processo de busca às frequências das células vizinhas (124 para GSM e 374 para GSM1800), faz medidas do nível de sinal para cada uma das vizinhas, e calcula a média do sinal recebido para cada uma delas. A média é calculada nas últimas cinco medidas para cada uma em intervalos de 3 a 5 segundos. A MS deve sincronizar e identificar o BCCH das seis melhores vizinhas, o que é determinado pelo nível de sinal destas. Os valores obtidos das seis vizinhas são utilizados para preencher o campo "BCCH_FREQ_NCELL".

DTX_USED

Este *bit* indica se a MS utiliza descontinuidade de transmissão durante o período de medida e desta forma sabe-se que tipo de medida se utiliza para os algoritmos, isto é, *Full* ou *Sub*. Esta facilidade é decidida pelo Operador, ou seja, é um parâmetro. Este parâmetro é bastante importante porque com a sua utilização aumenta-se a autonomia da bateria.

*Bit*_DTXd = 0 ⇒ não existe descontinuidade na transmissão, portanto a medida considerada é *Full*;

*Bit*_DTXd = 1 ⇒ existe descontinuidade na transmissão, existe Ruído de Conforto, portanto a medida considerada é *Sub*.

RXLEV_SUB/FULL_SERV_CELL RXQUAL_SUB/FULL_SERV_CELL

Estes campos indicam a média do nível e qualidade do sinal descendente. Estas medidas são efectuadas pela MS durante todo o período de medida em todos os TS existentes. As medidas estão mapeadas nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4. O método de cálculo e a forma como os valores são tabelados é igual em modo ascendente. Portanto, para informação mais detalhada consultar a mensagem "Medidas Ascendentes", Anexo B.

MEAS_VALID

Este campo indica se os resultados medidos no canal dedicado são ou não válidos.

*Bit*_MEAS_VALID = 0 ⇒ o resultado medido é válido;

*Bit*_MEAS_VALID = 1 ⇒ o resultado medido não é válido.

NO_NCELLM

Este campo indica o número de células vizinhas em que a MS está a fazer medidas, este campo é mapeado conforme a Tabela B.20.

Tabela B.20: Número de células vizinhas da MS.

Bits	187	
	000	não existem medidas de células vizinhas
	001	1 célula vizinha é medida
	010	2 células vizinhas são medidas
	011	3 células vizinhas são medidas
	100	4 células vizinhas são medidas
	101	5 células vizinhas são medidas
	110	6 células vizinhas são medidas
	111	Medidas das células vizinhas não estão disponíveis

BCCH_FREQ_NCELL

Este campo identifica o BCCH das células vizinhas de acordo com a sua numeração.

BSIC_NCELL

O BSIC é a identificação de cada célula, e é através deste que a MS identifica as células vizinhas. Este é constituído pelo NCC e BCC. O BSIC tem o tamanho de um octeto e é codificado no SCH, Tabela B.21.

O BSIC pode ser reutilizado, mas é importante que as células vizinhas nunca tenham o mesmo BSIC e o mesmo BCCH. Como exemplo, apresenta-se na Tabela B.21 para BSIC igual a 29 (1D HEX).

Tabela B.21: Codificação do BSIC.

RESERVED		**NCC**			**BCC**		
0	0	0	1	1	1	0	1

- **MS TIMING OFFSET**

Esta mensagem de informação define o atraso no sinal recebido de uma MS com TA nulo, Tabela B.22.

Tabela B.22: "MS Timing Offset Message".

8	7	6	5	4	3	2	1	
ELEMENT IDENTIFIER								1
TIMING OFFSET								2

ELEMENT IDENTIFIER

Este campo destina-se a identificar a mensagem de informação, no caso acima, os *bits* da mensagem de identificação são: 00100101.

TIMING OFFSET

Este campo indica a distância entre a BTS e a MS, isto quando a MS está a uma distância inferior a 500 metros. Este campo é em formato binário de módulo 256 e é mapeado em níveis de -63 a 192. A MS com atraso de propagação total de P *bits* devido à distância a que se encontra da BTS, e emite com um TA de T *bits*, então o "**T**iming **O**ffset" (TO) é de P-T *bits* com a percepção de ± 1 *bit*.

ANEXO C – COBERTURA E DESEMPENHO

As figuras deste anexo são retiradas de ferramentas que existem na TMN: as figuras de Evolução de Tráfego Diário, *% Blocking* e *% Dropped Calls* são retiradas do módulo estatístico do OMC, através de uma ferramenta denominada por "Métrica" que faz o processamento de todos os RMs existentes no canal de propagação, e representam todos os canais rádio da célula em estudo; as figuras das áreas de dominância das células são retiradas do *TEMS Cell Planner 3.0 (Ericsson)*, que é usado como ferramenta auxiliar de planeamento e está ligada a uma BD que contém todas as características importantes da estação em estudo (antenas, azimutes, cota, inclinação, etc.).

O nível de sinal é diferente na área de dominância da célula, apresentando-se em seguida a correspondência dos diferentes níveis de sinal com as cores das figuras a seguir apresentadas, Figura C.1.

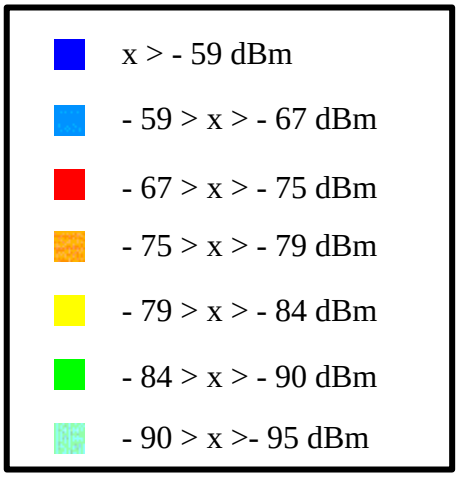

Figura C.1: Legenda dos níveis de sinal em ambiente exterior.

C.1 RECTA DO CABO

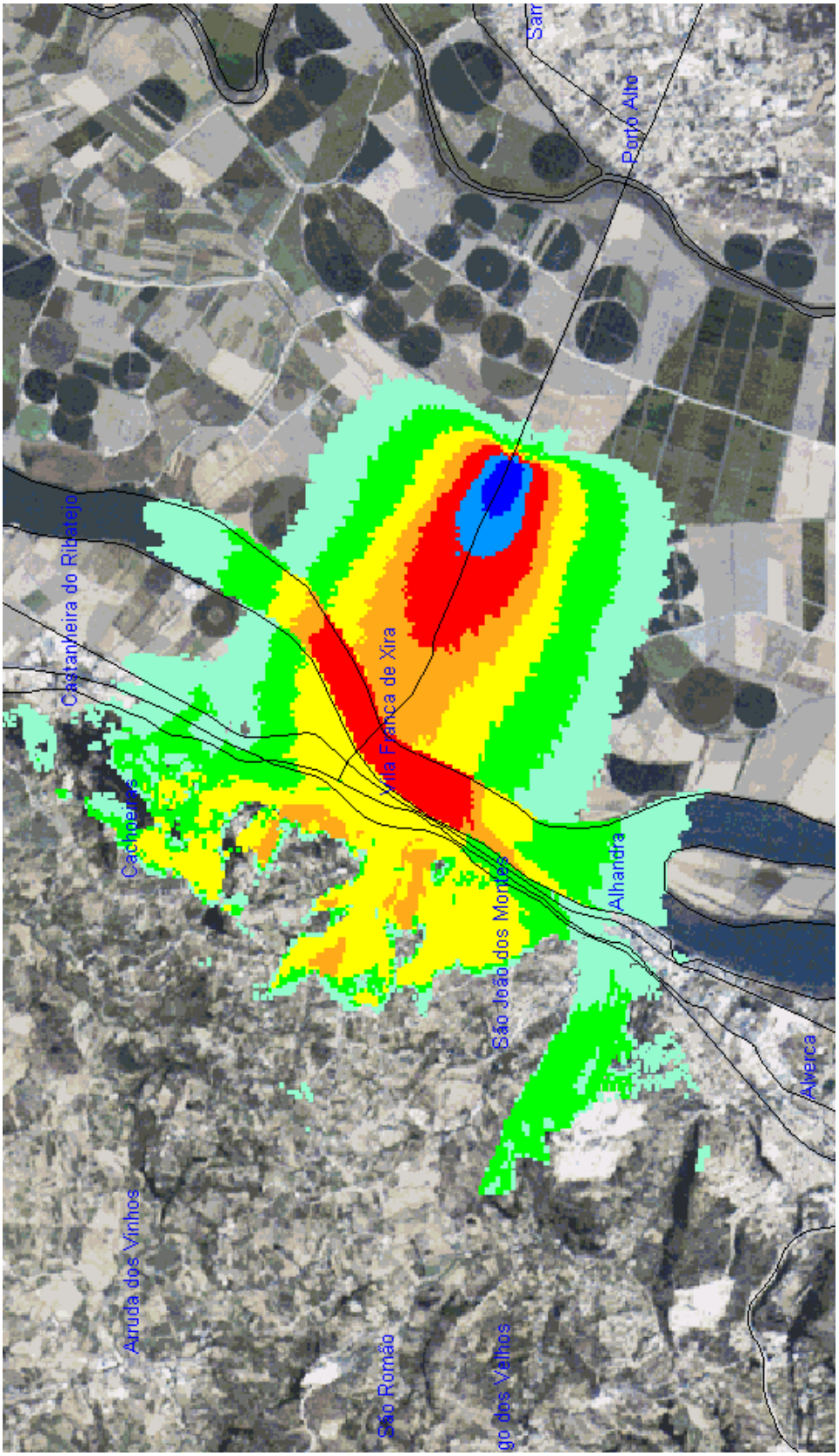

Figura C.2: Cobertura simulada da célula Recta do Cabo.

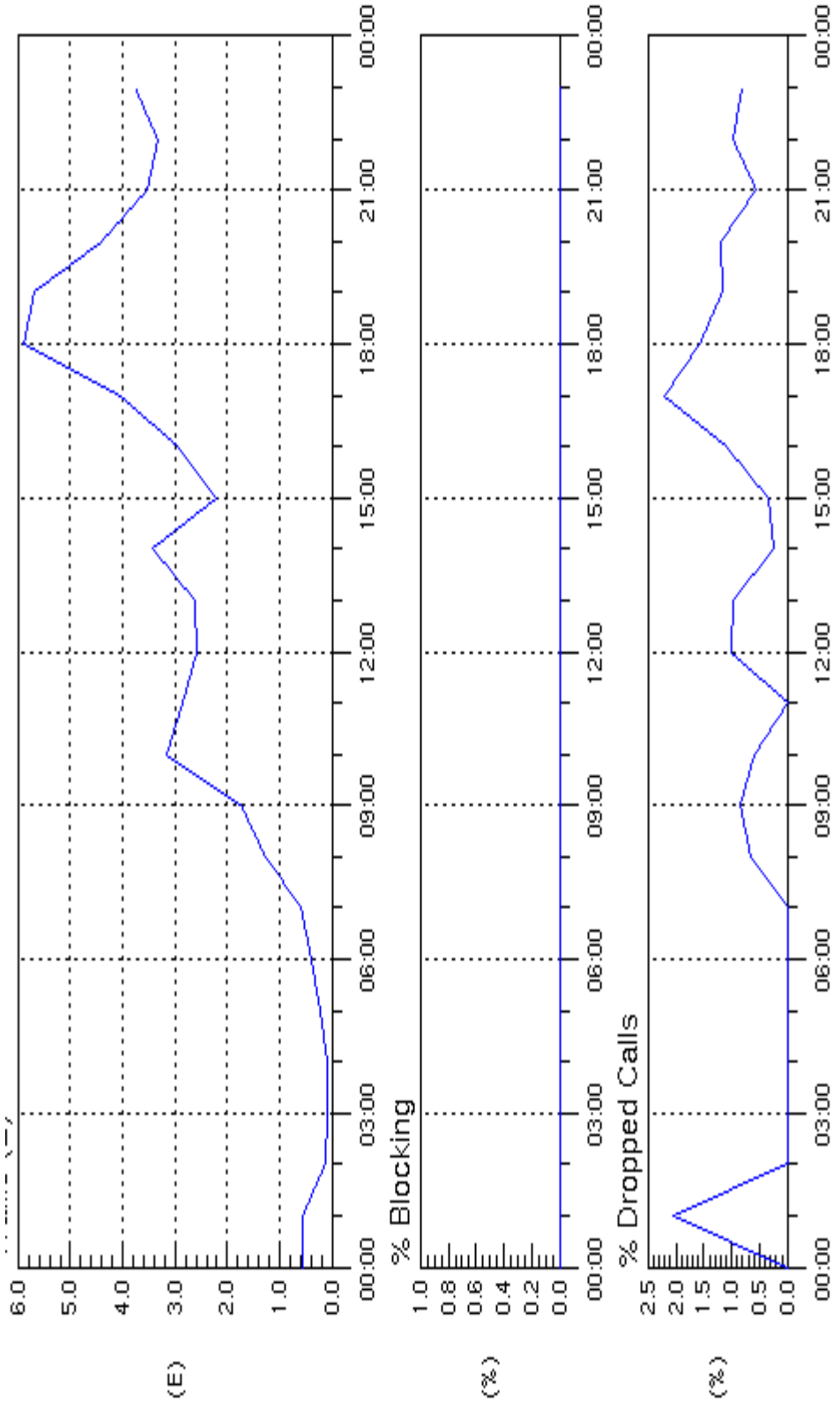

Figura C.3: Resultados da célula Recta do Cabo.

C.2 VIADUTO 1

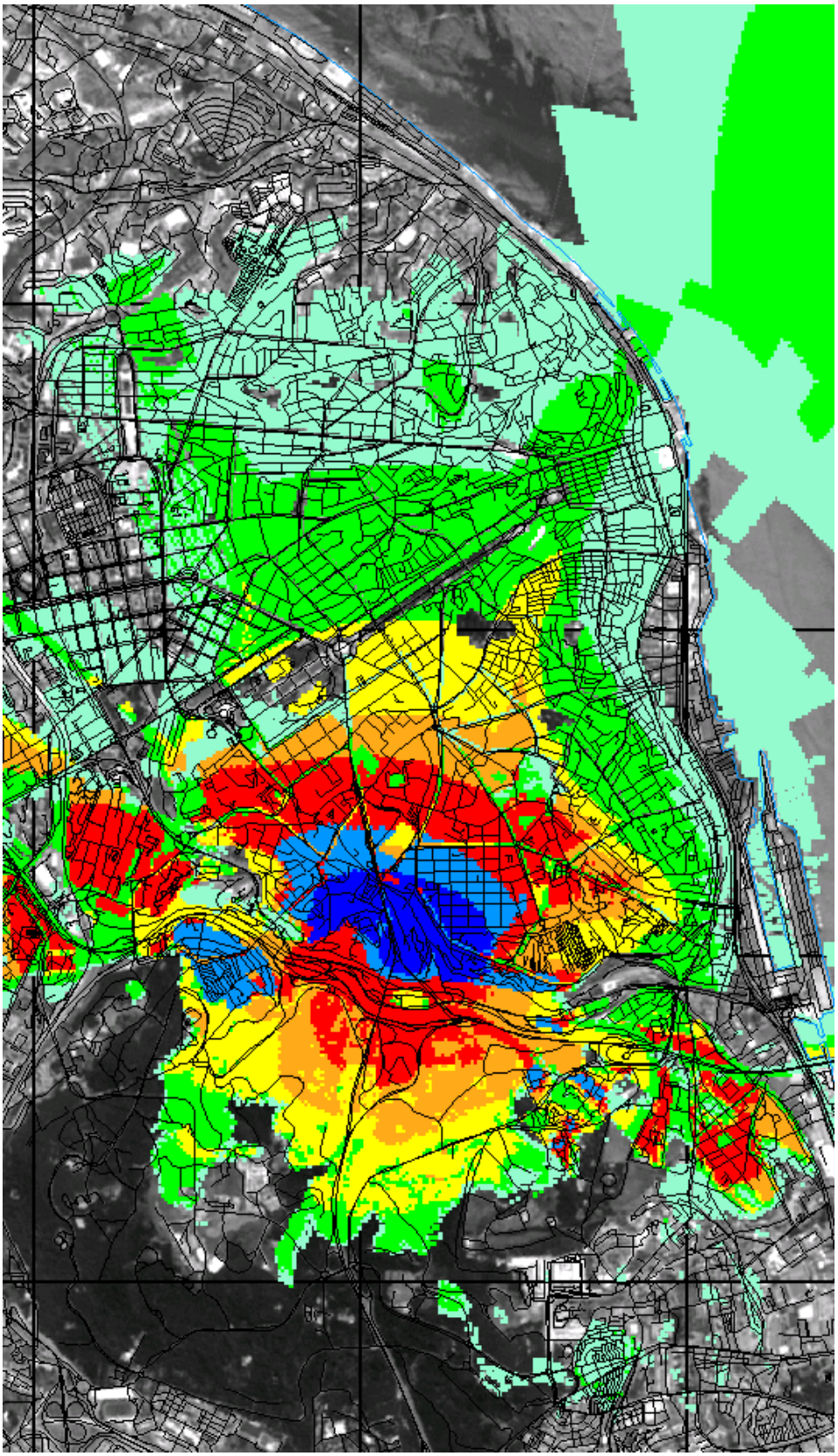

Figura C.4: Cobertura simulada da célula Viaduto 1.

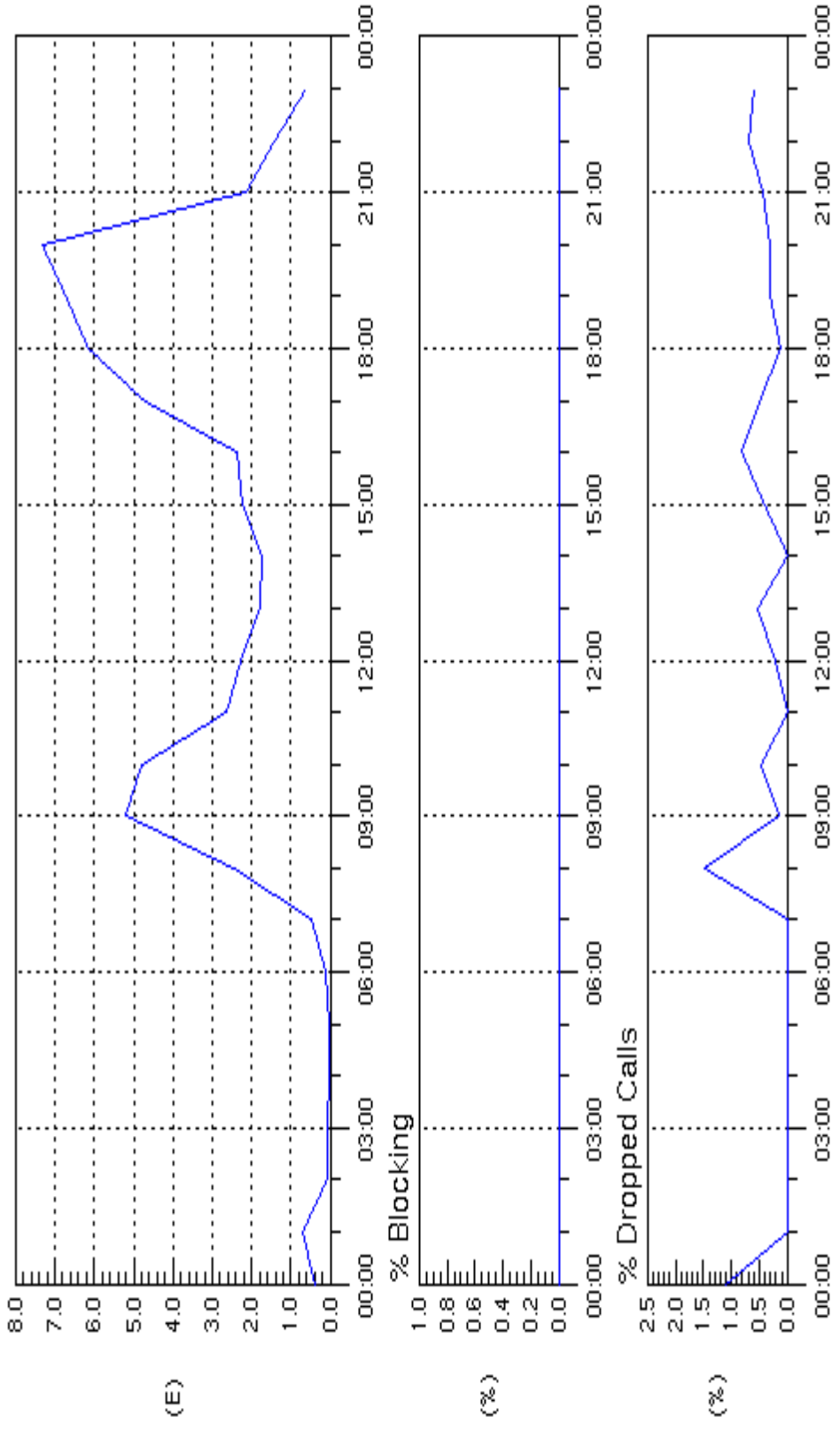

Figura C.5: Resultados da célula Viaduto 1.

C.3 VIADUTO 2

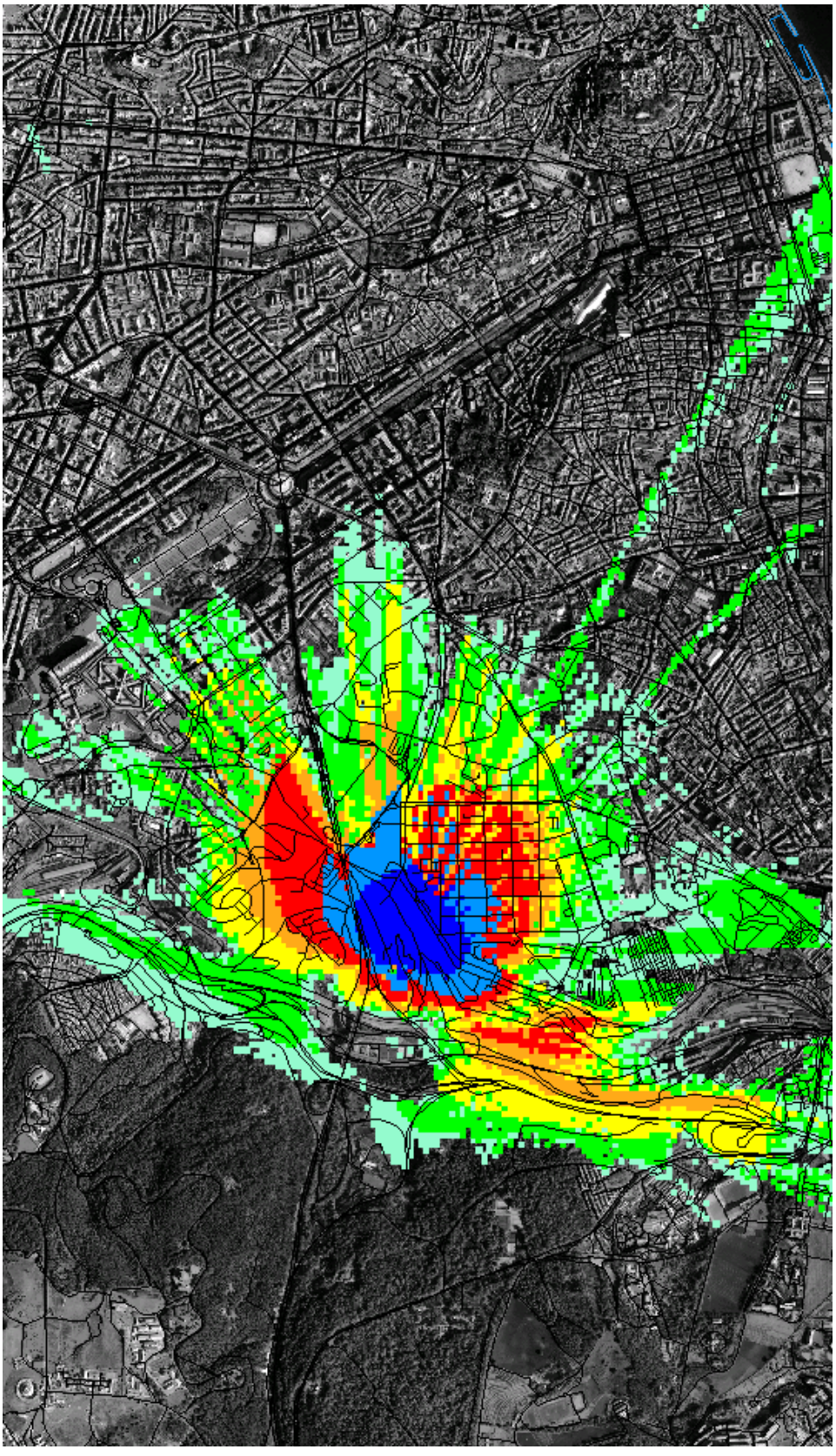

Figura C.6: Cobertura simulada da célula Viaduto 2.

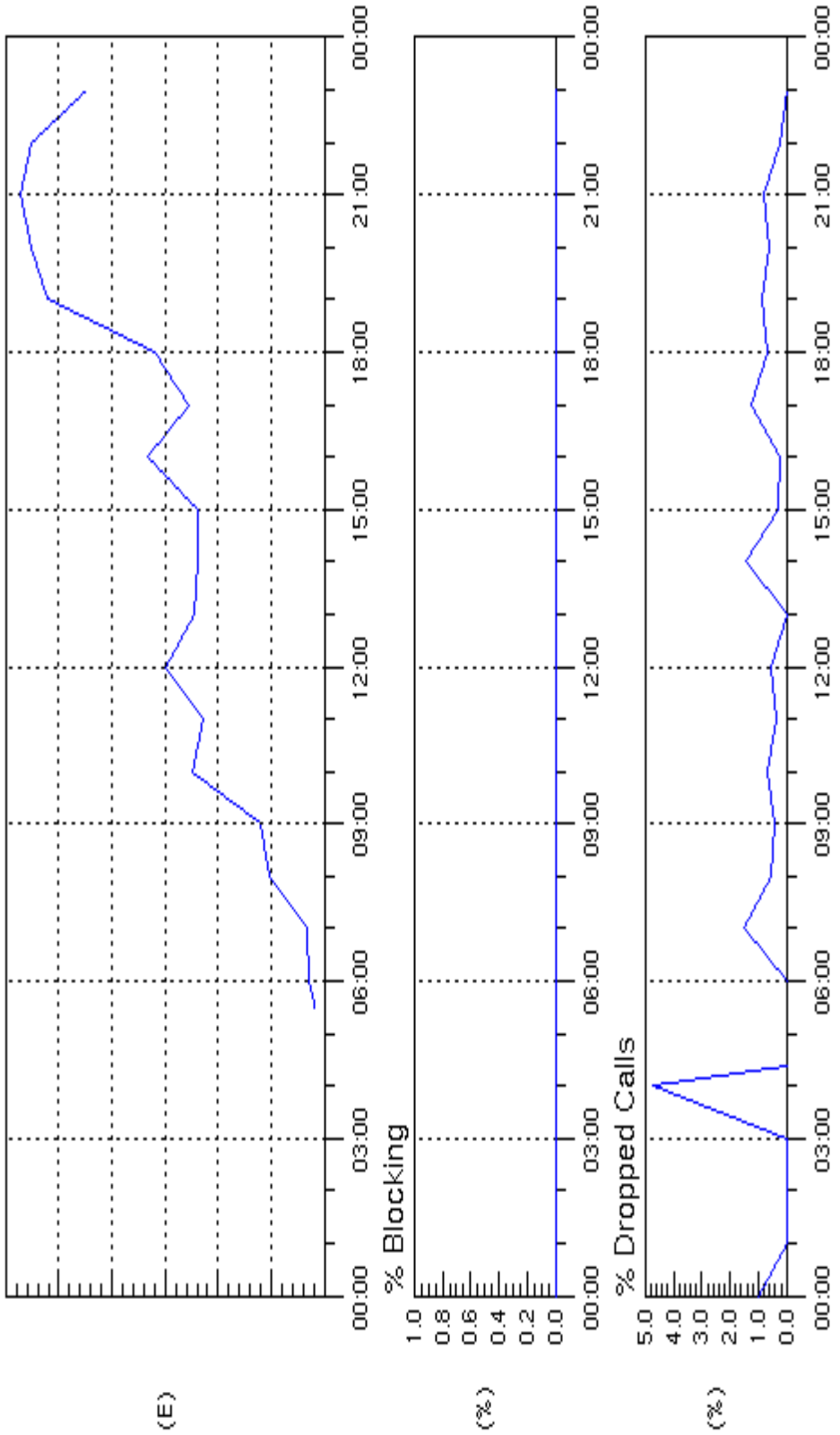

Figura C.7: Resultados da célula Viaduto 2.

C.4 VIADUTO 3

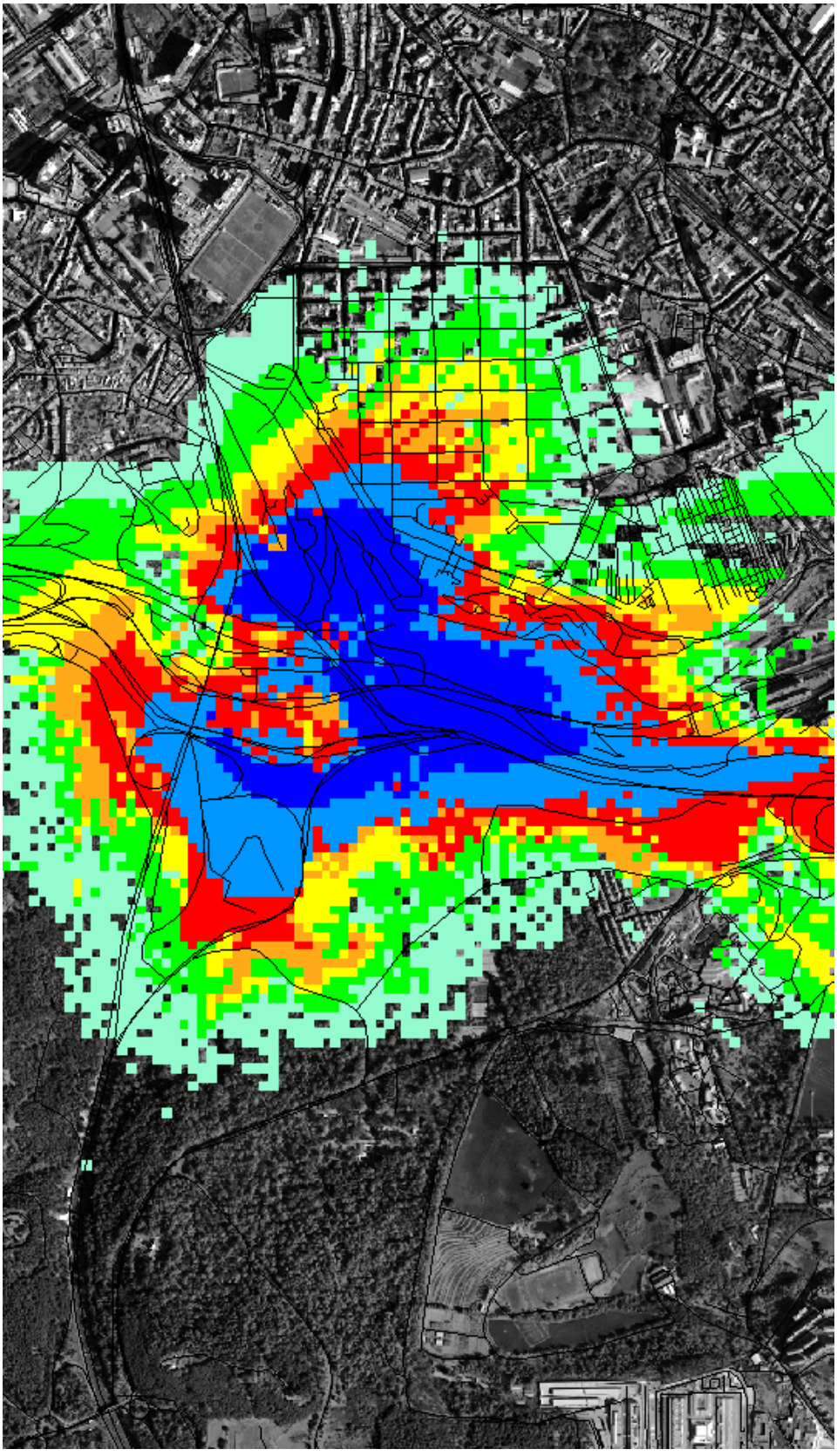

Figura C.8: Cobertura simulada da célula Viaduto 3.

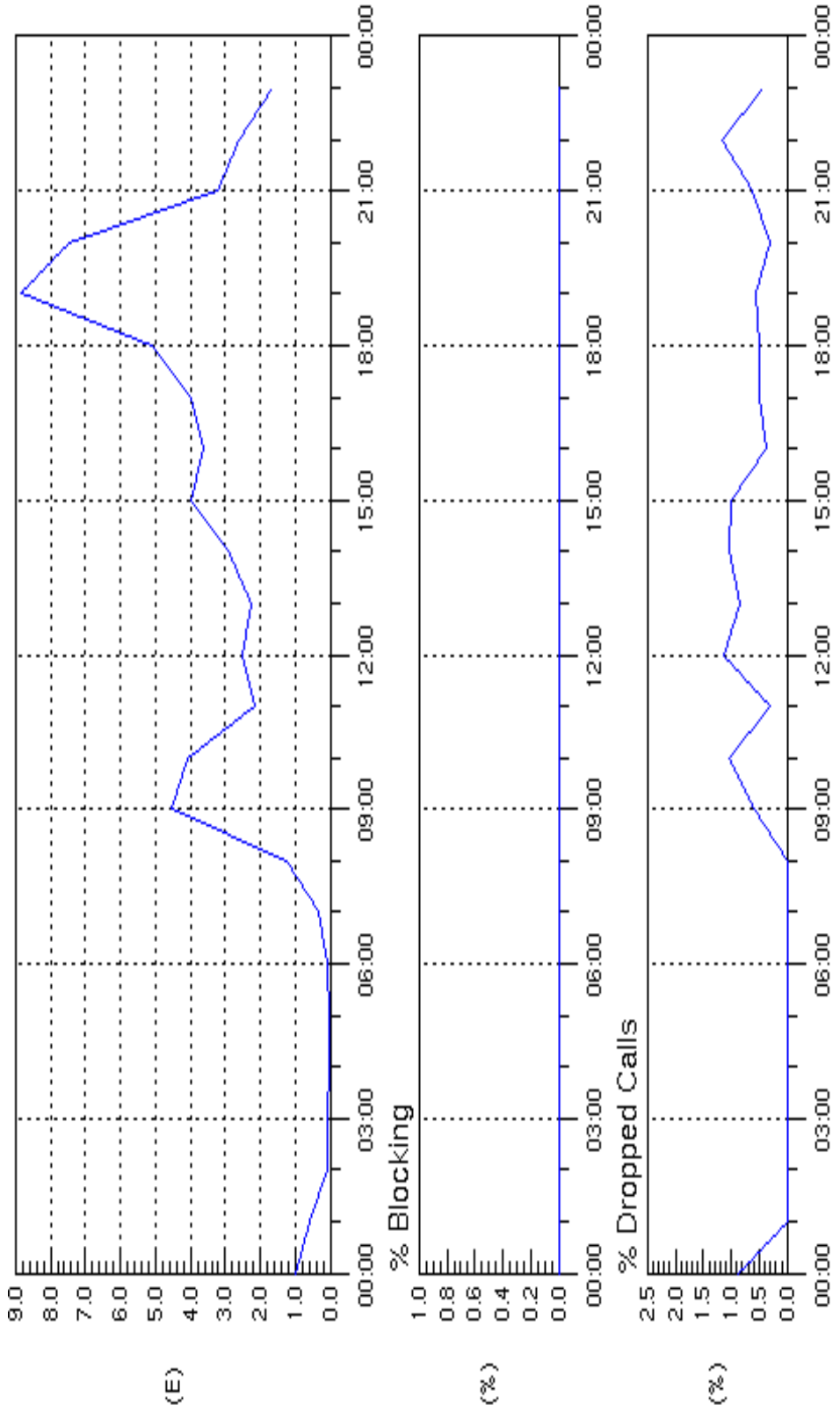

Figura C.9: Resultados da célula Viaduto 3.

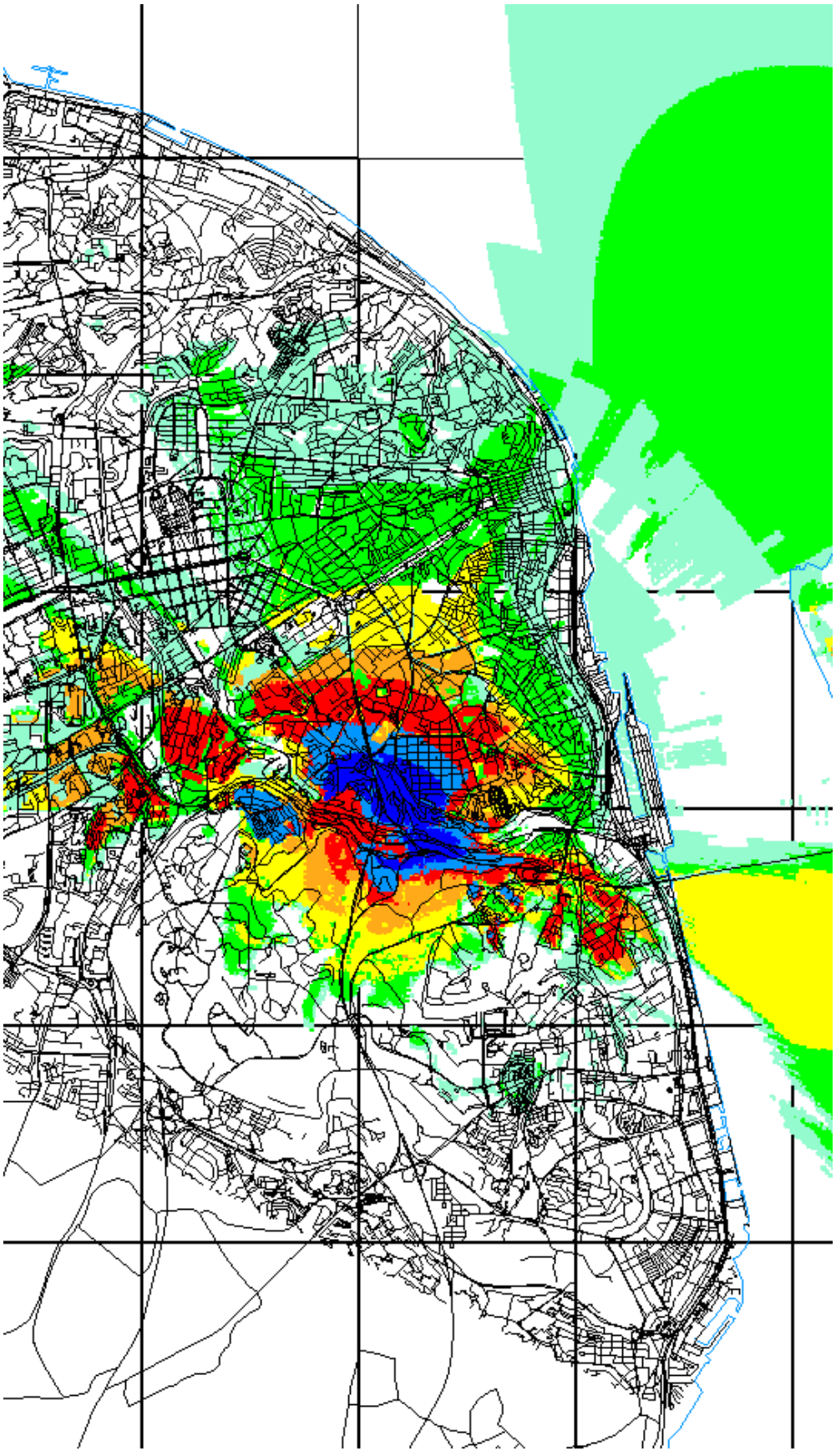

Figura C.10: Cobertura simulada das três células do Viaduto Duarte Pacheco.

C.5 BELÉM

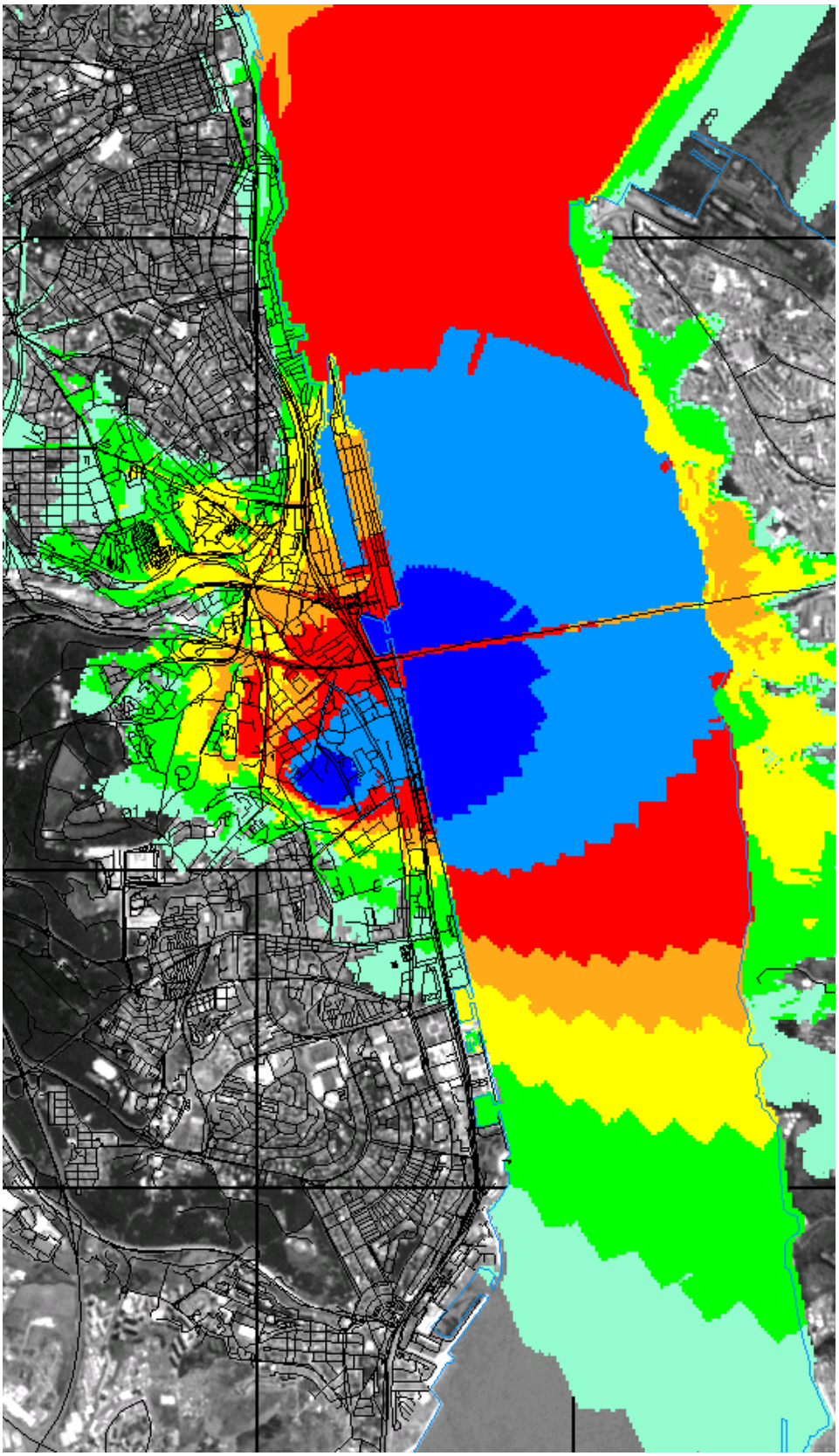

Figura C.11: Cobertura simulada da célula Belém, vista ampliada.

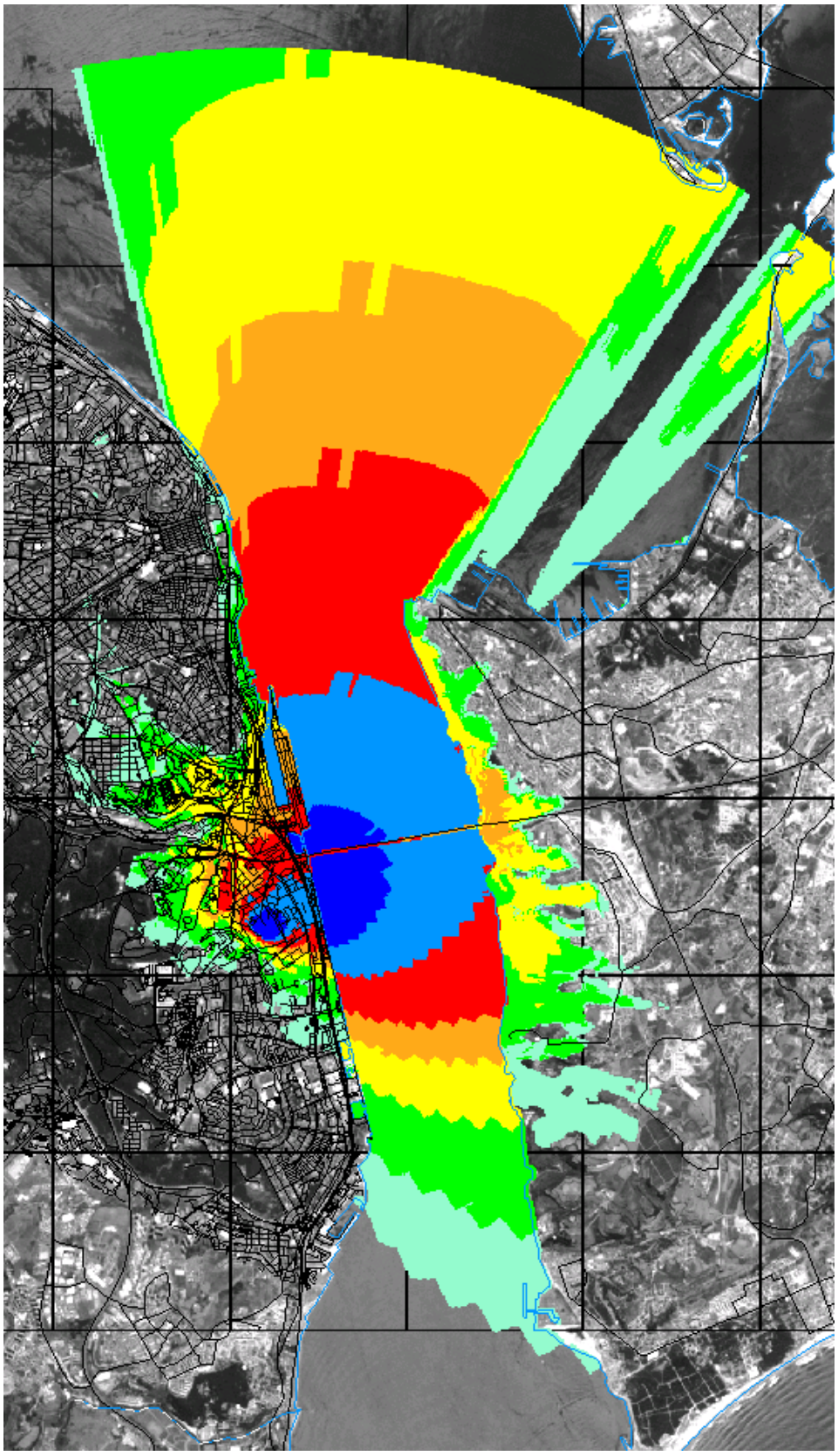

Figura C.12: Cobertura simulada da célula Belém.

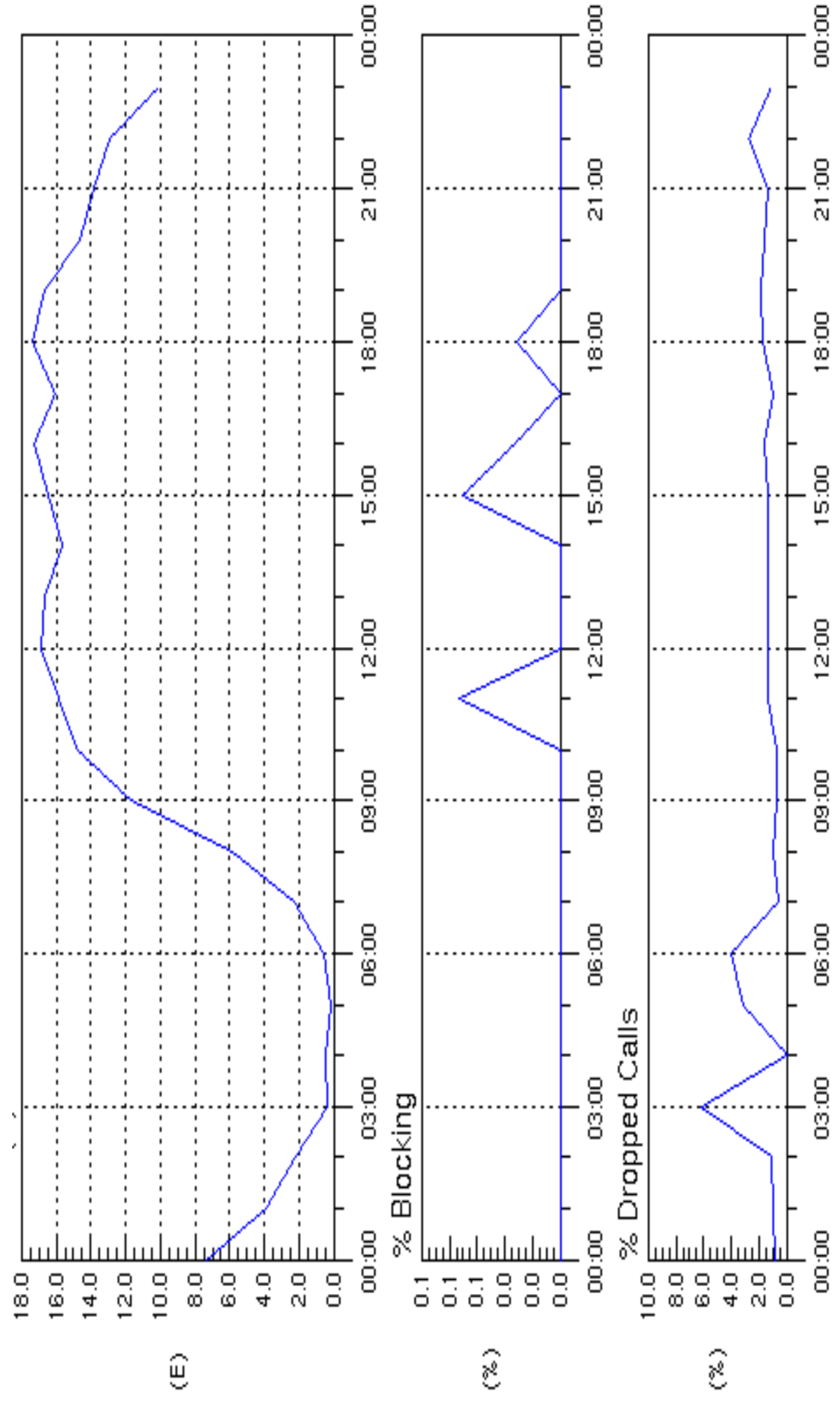

Figura C.13: Resultados da célula Belém.

C.6 SALDANHA

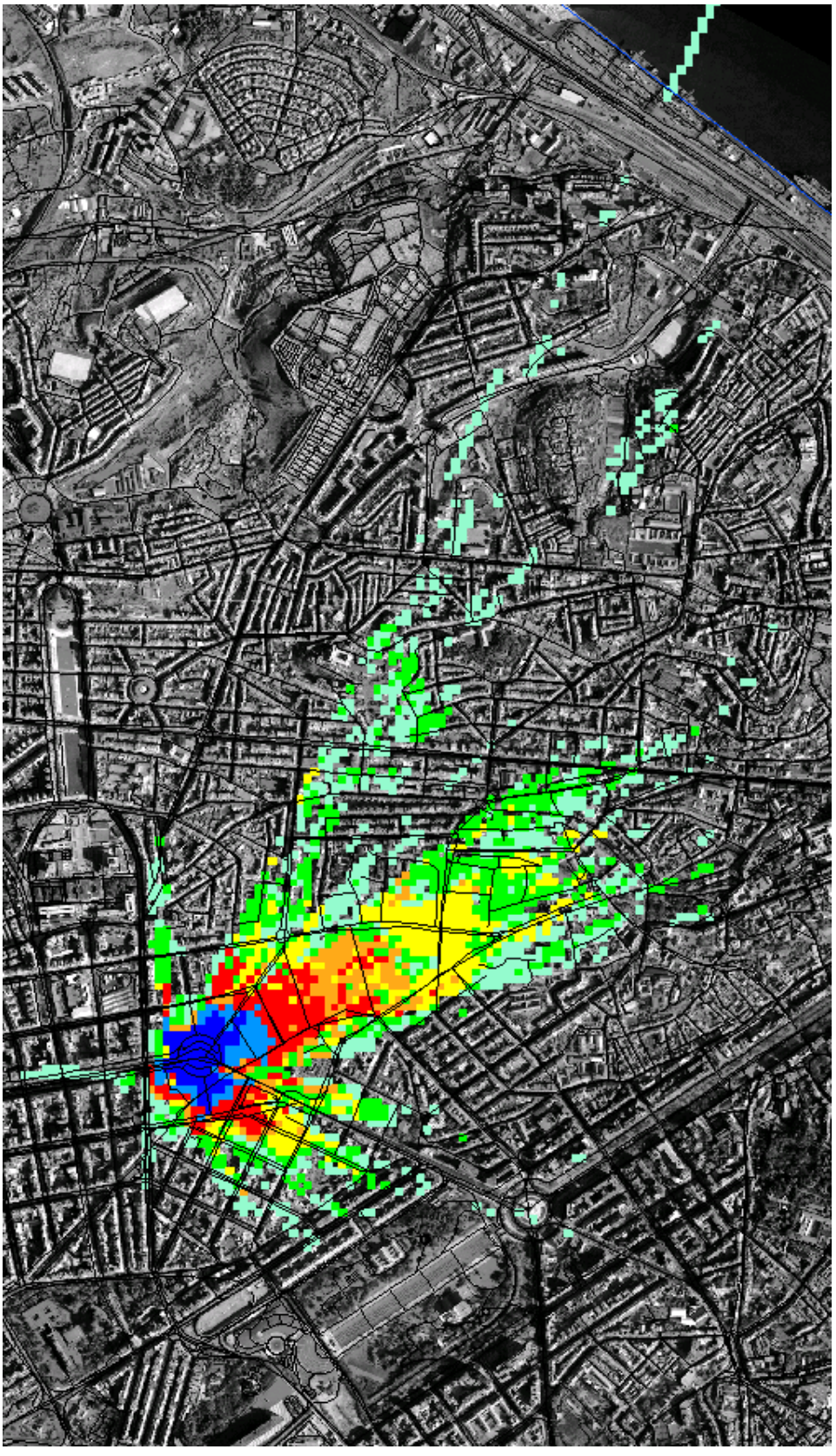

Figura C.14: Cobertura simulada da célula Saldanha.

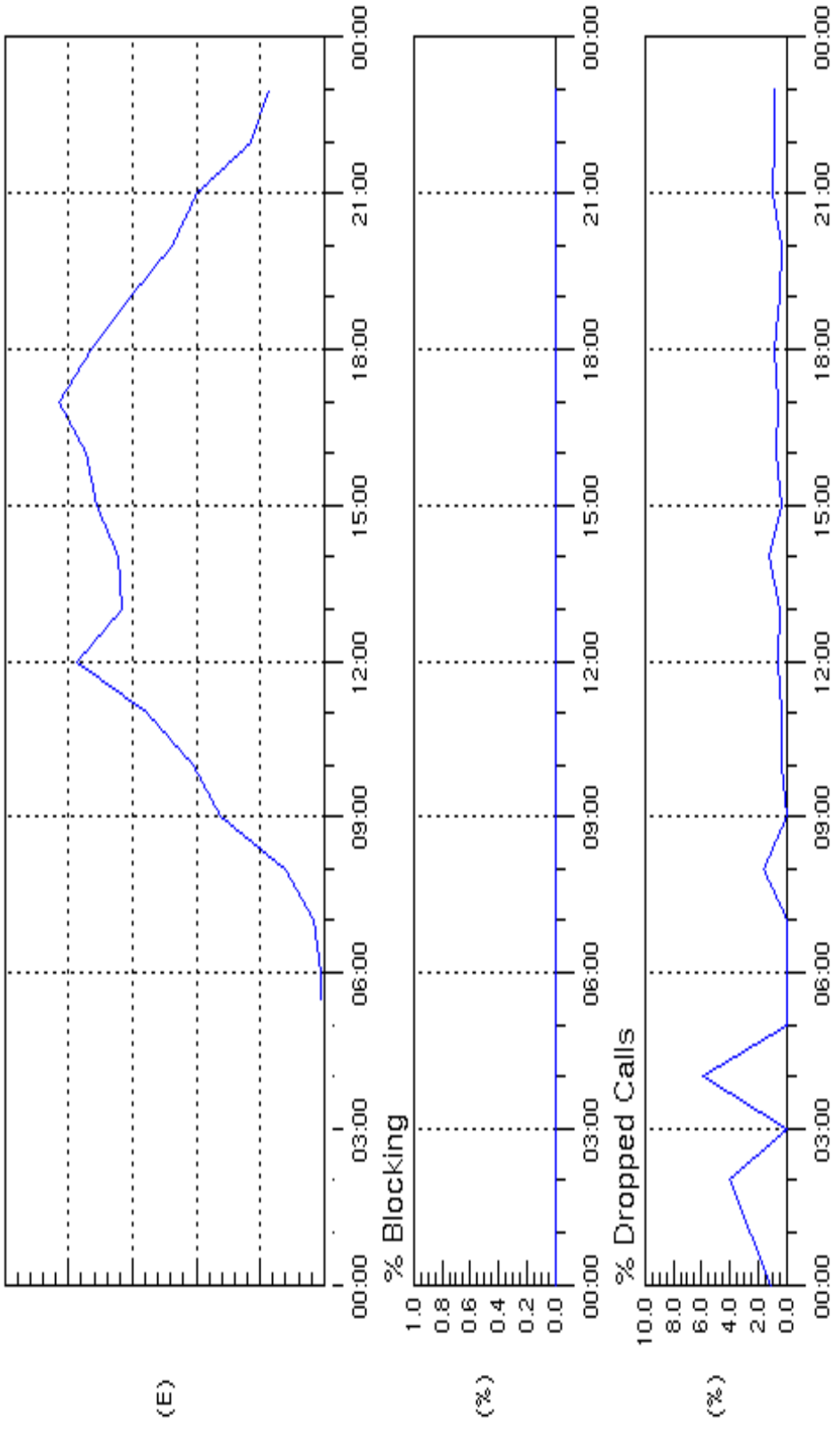

Figura C.15: Resultados da célula Saldanha.

C.7 SANTO ANTÓNIO DE CAVALEIROS

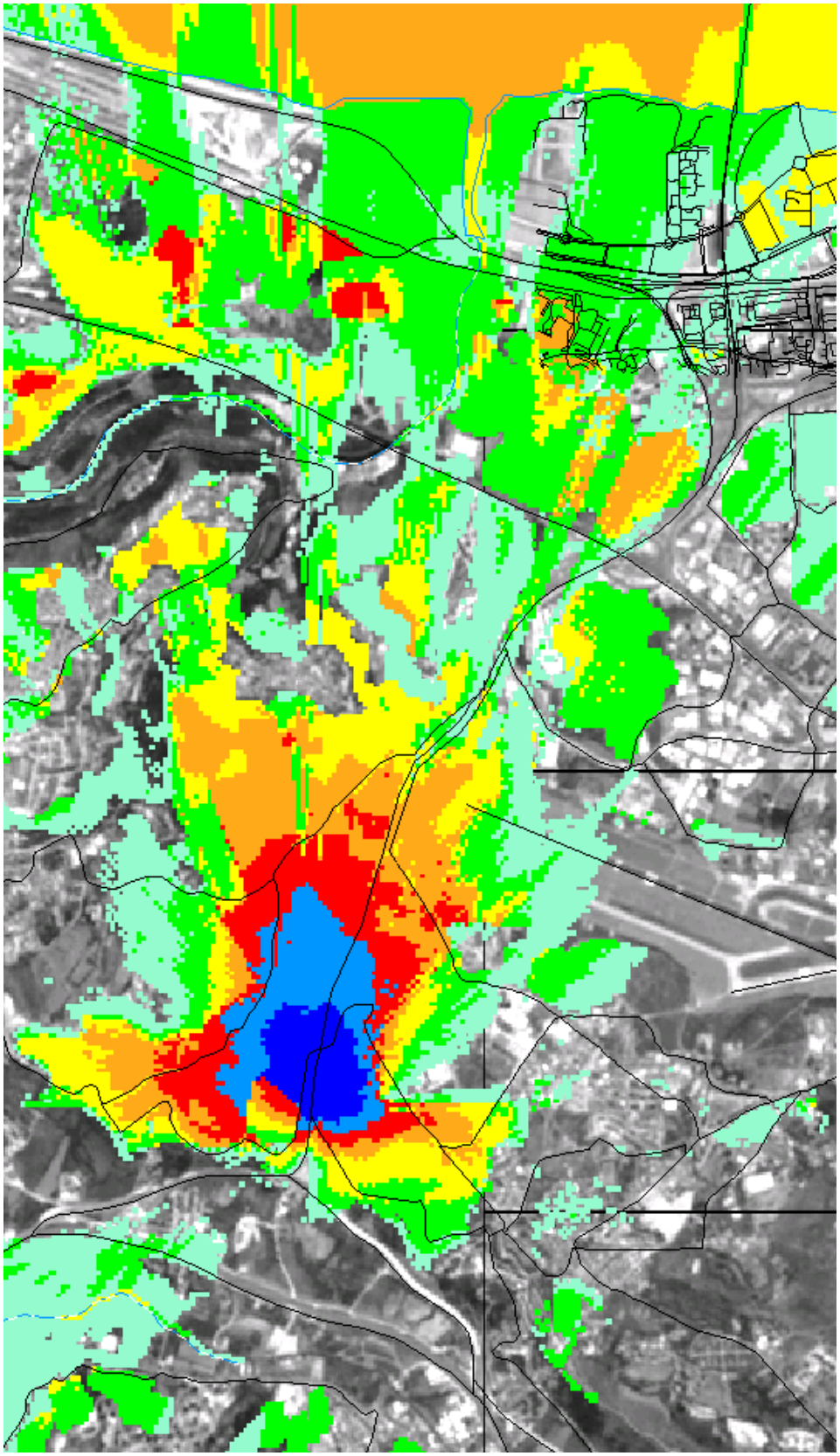

Figura C.16: Cobertura simulada da célula S. António dos Cavaleiros.

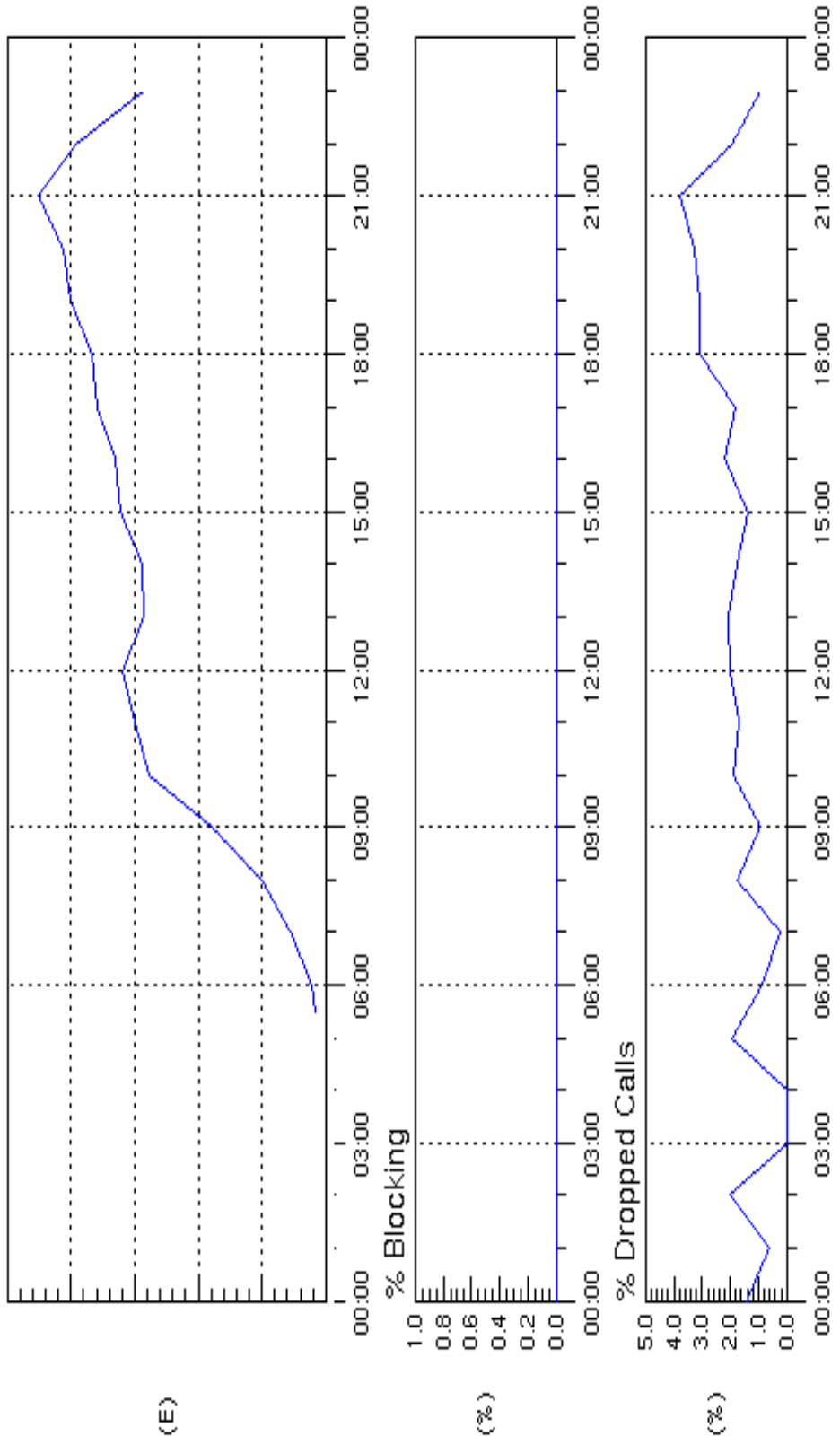

Figura C.17: Resultados da célula S. António dos Cavaleiros.

ANEXO D – CÉLULAS ANALISADAS

D.1 RECTA DO CABO

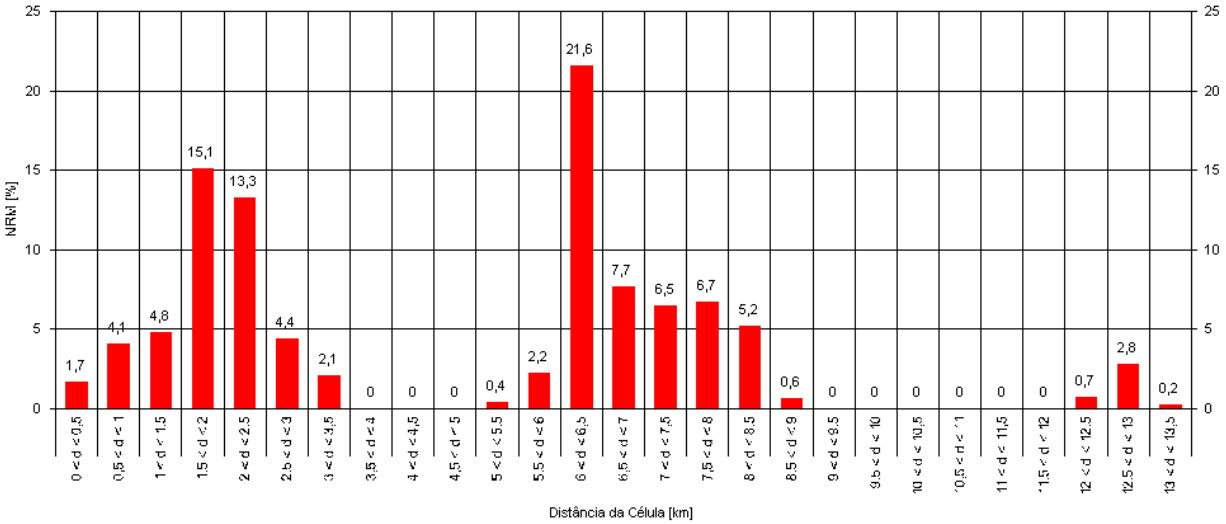

Figura D.1: Localização do Tráfego, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 9h00-9h10, 2421 Amostras, Distância Média 4,8 km, Desvio Padrão 3,0 km.

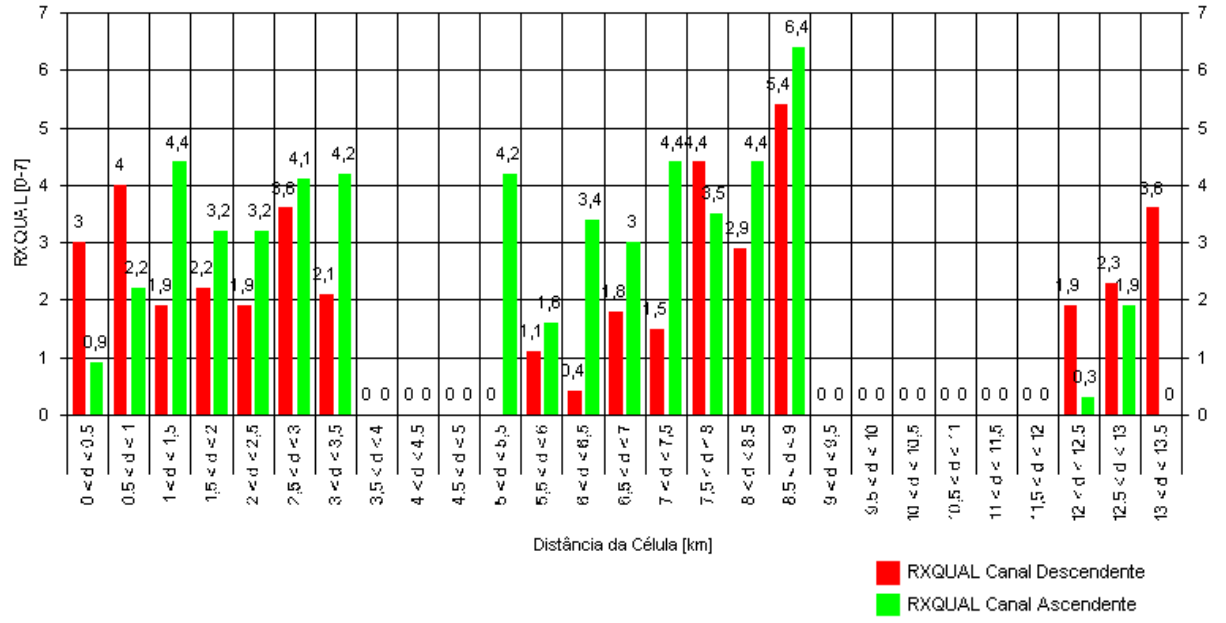

Figura D.2: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 9h00-9h10.

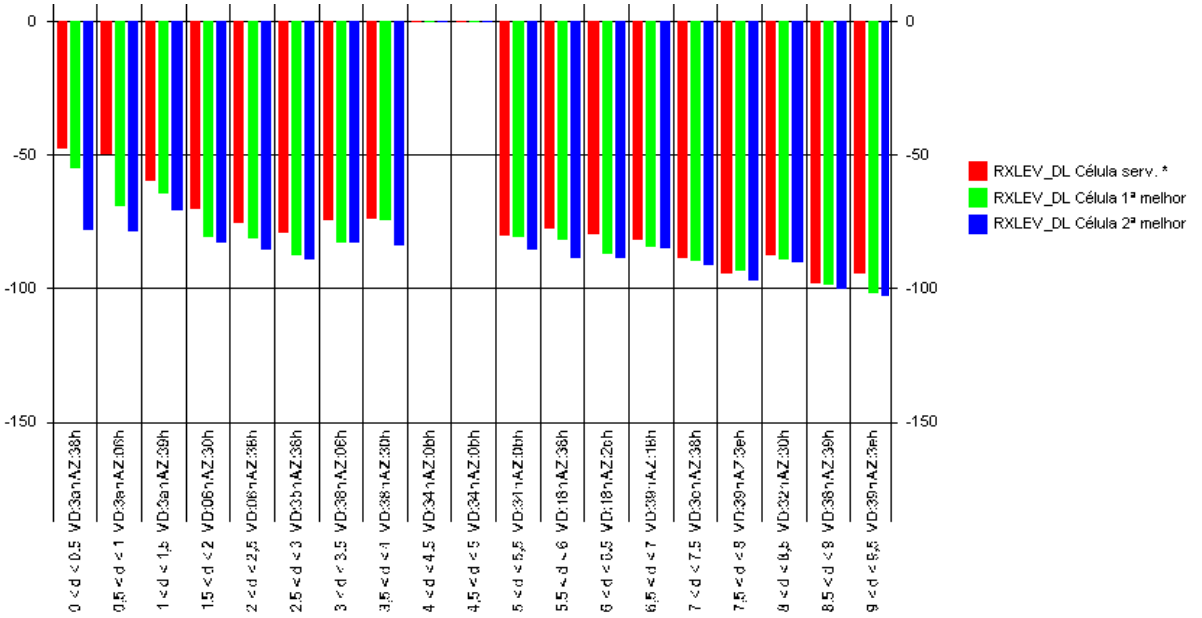

Figura D.3: Localização das Candidatas a Handover, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 14h00-14h10.

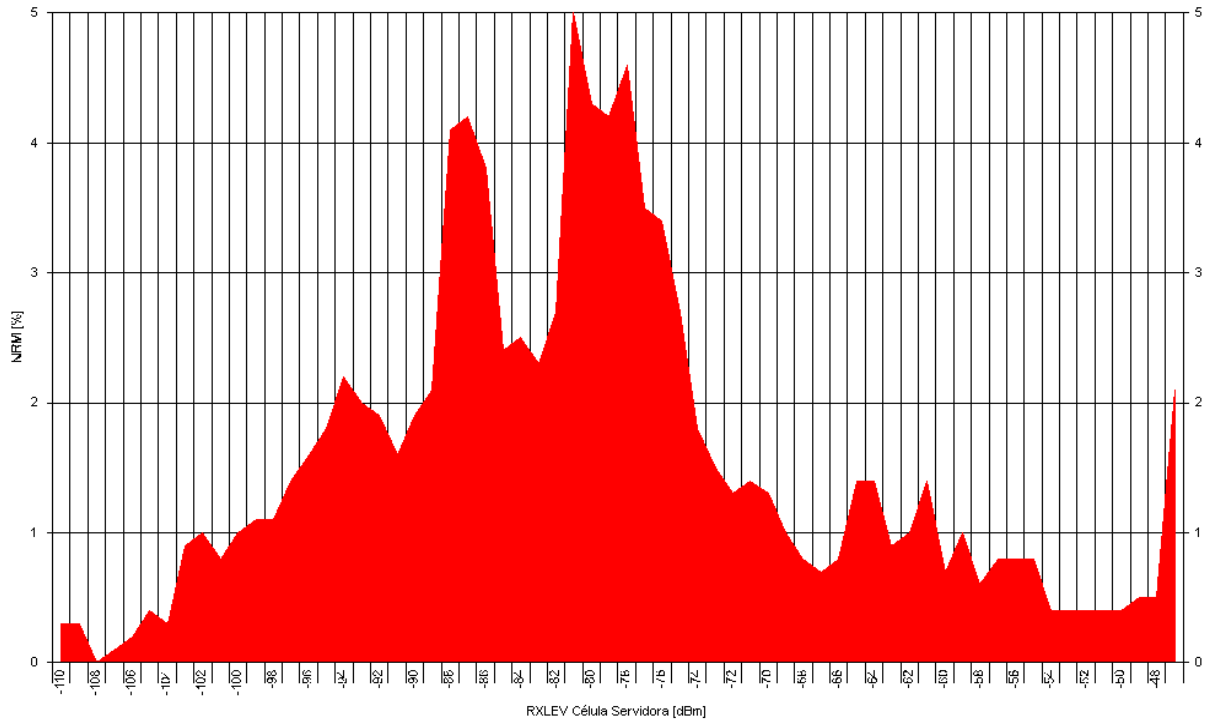

Figura D.4: Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 14h00-14h10, 4624 Amostras, Nível Médio –79,9 dBm, Desvio Padrão 13,1 dBm.

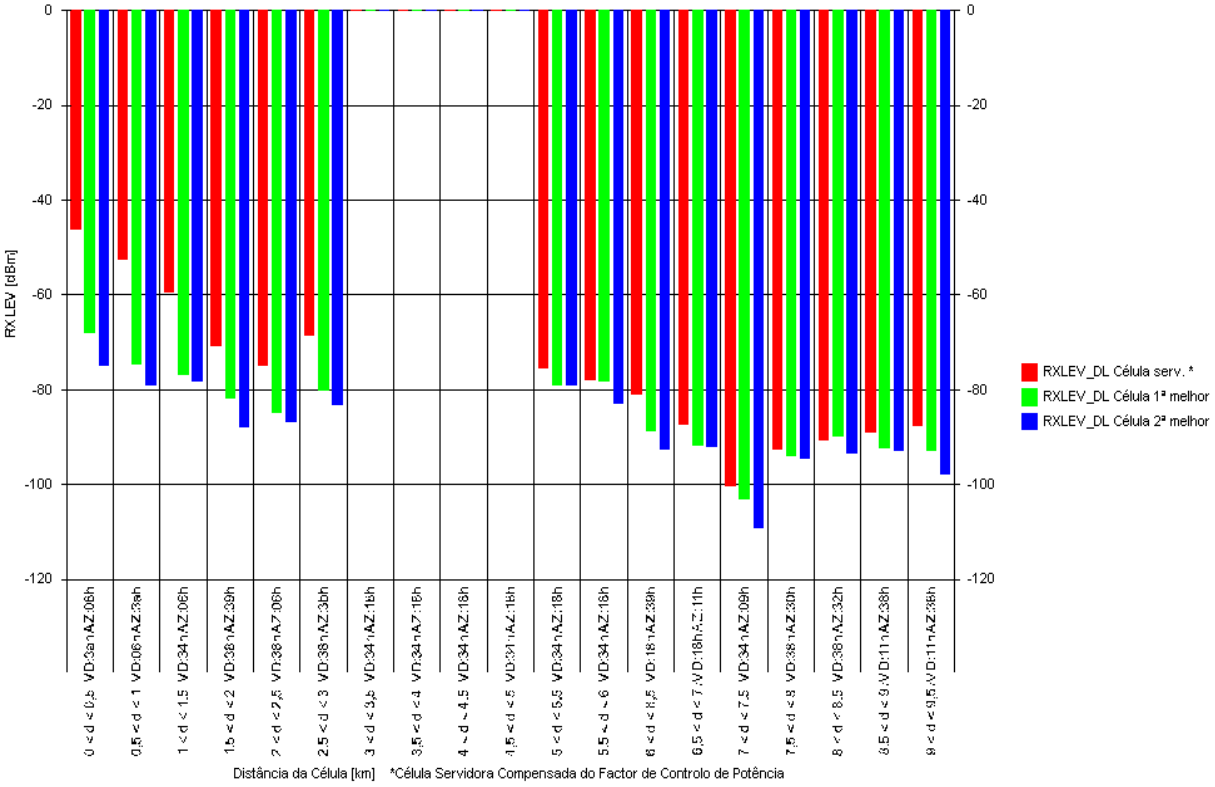

Figura D.5: Localização de Candidatas a Handover, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 12h00-12h10.

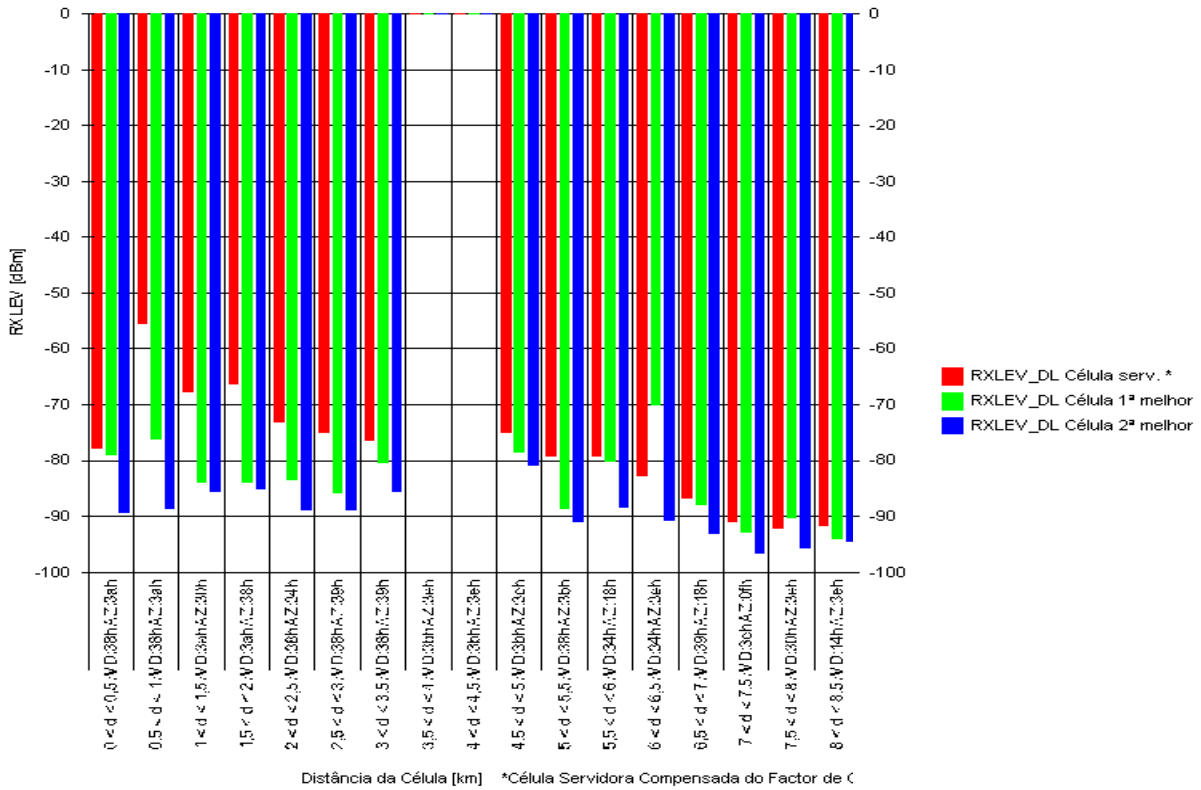

Figura D.6: Localização de Candidatas a Handover, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 19h00-19h10.

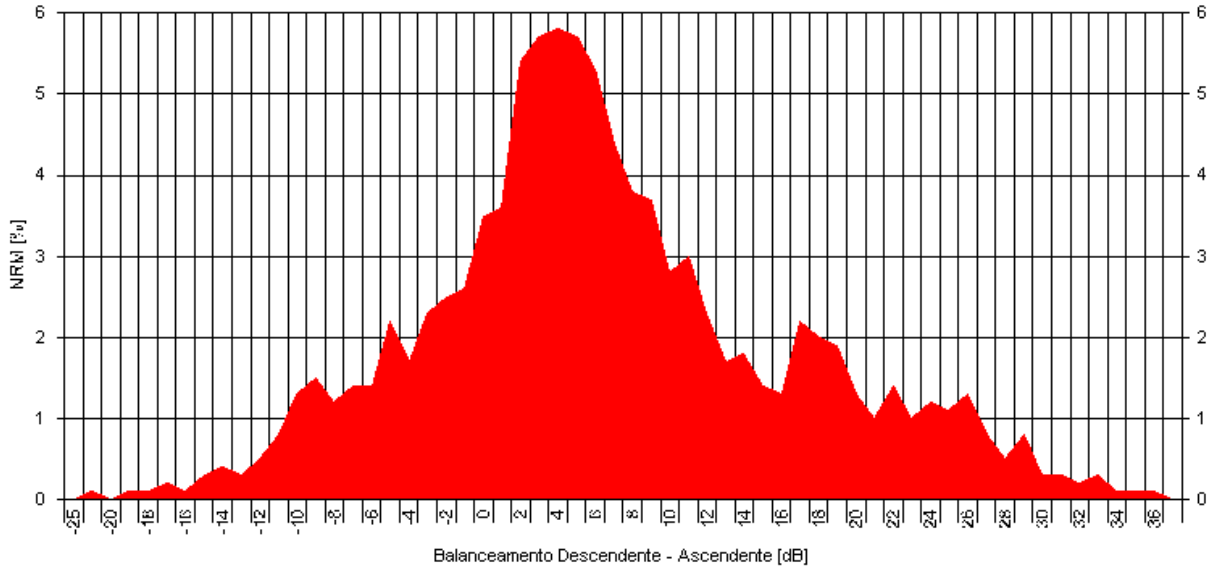

Figura D.7: Balanceamento de Potências, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 14h00-14h10, 4624 Amostras, Valor Médio 6,6 dBm, Desvio Padrão 9,9 dBm.

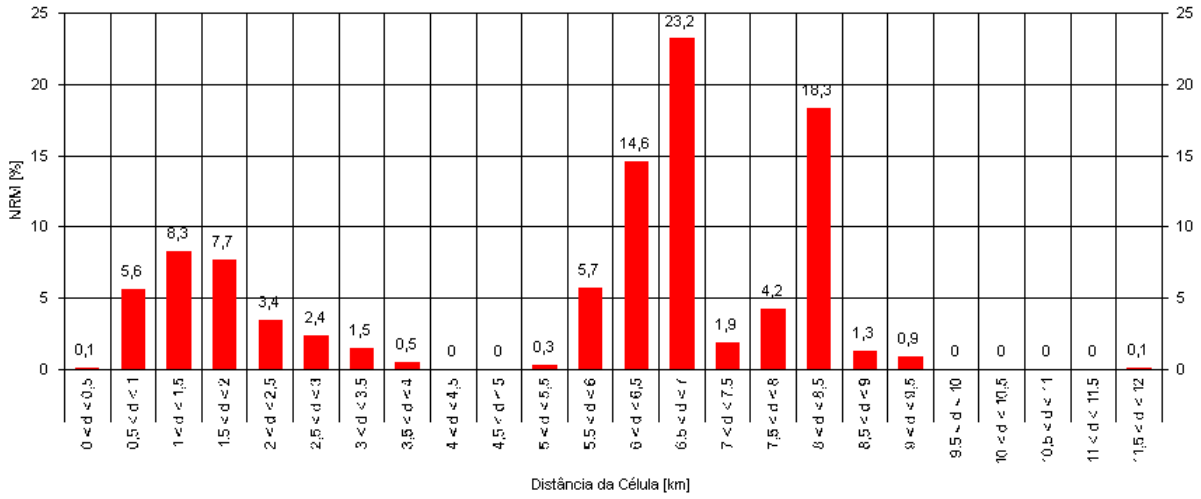

Figura D.8: Localização do Tráfego, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 14h00-14h10, 4624 Amostras, Distância Média 5,5 km, Desvio Padrão 2,6 km.

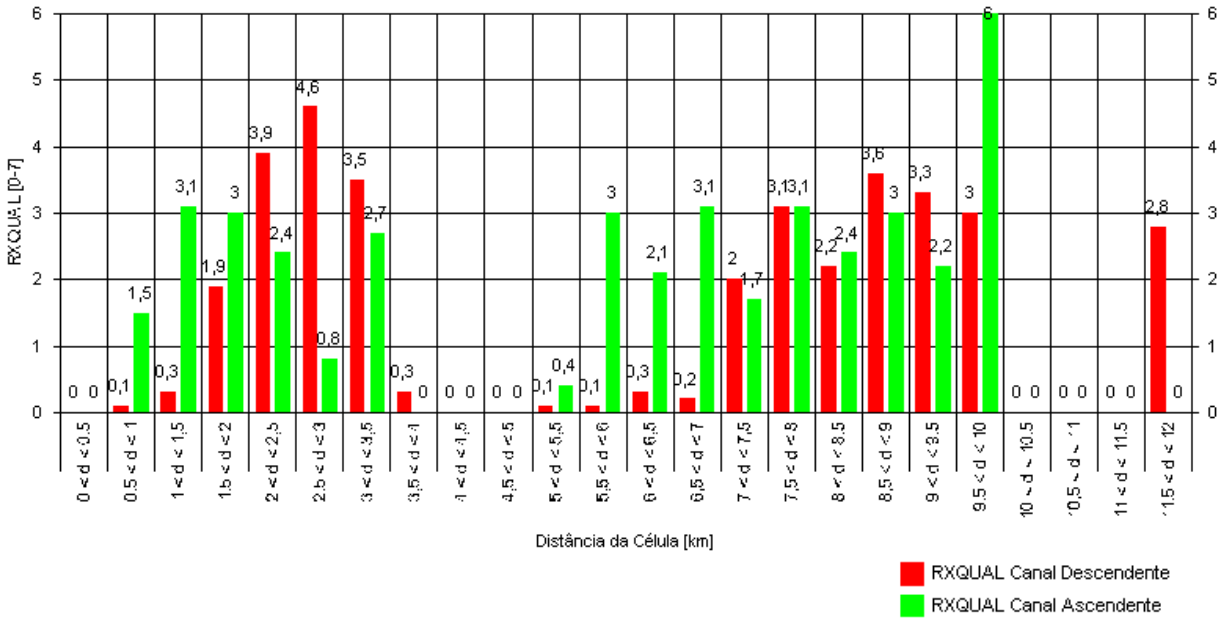

Figura D.9: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Recta do Cabo, Amostra 10Out'01, 14h00-14h10.

D.2 VIADUTO 1

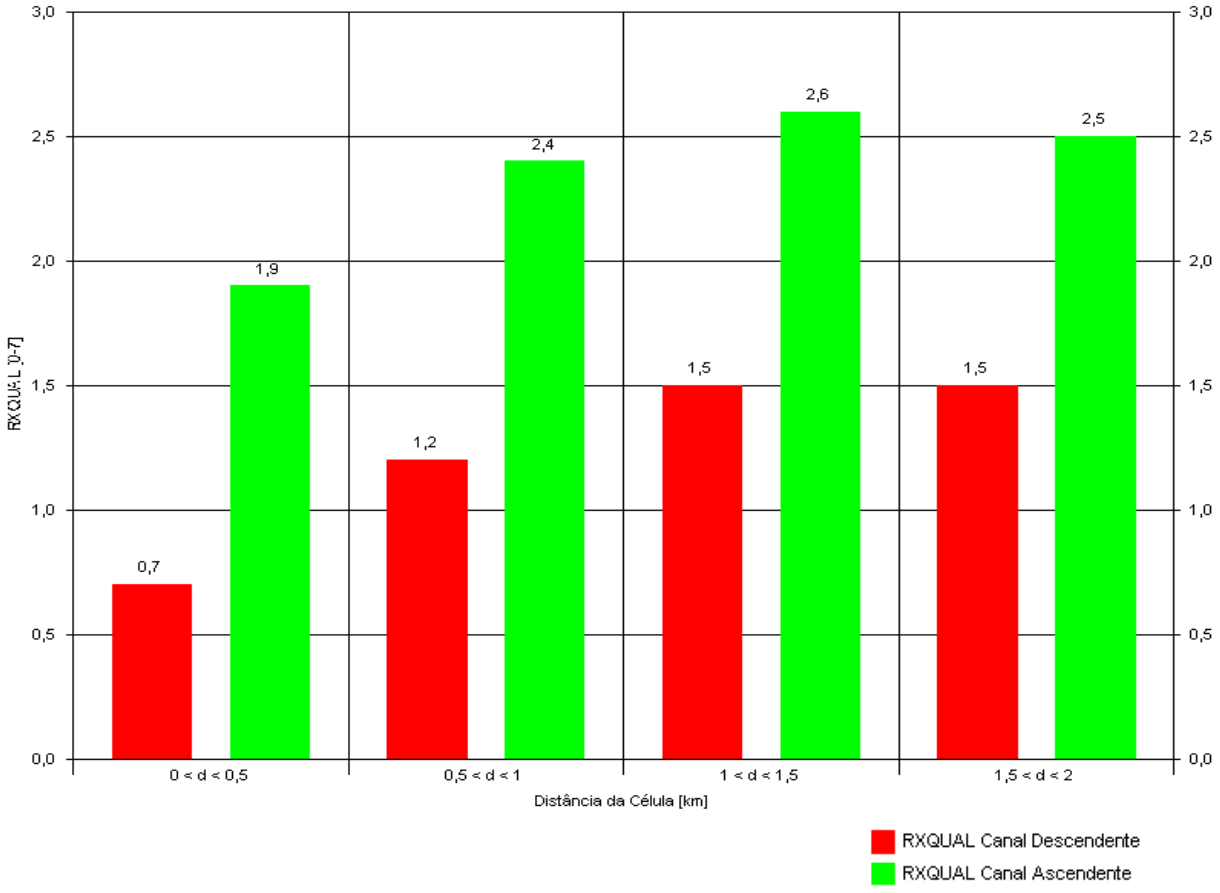

Figura D.10: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 19h40-19h50.

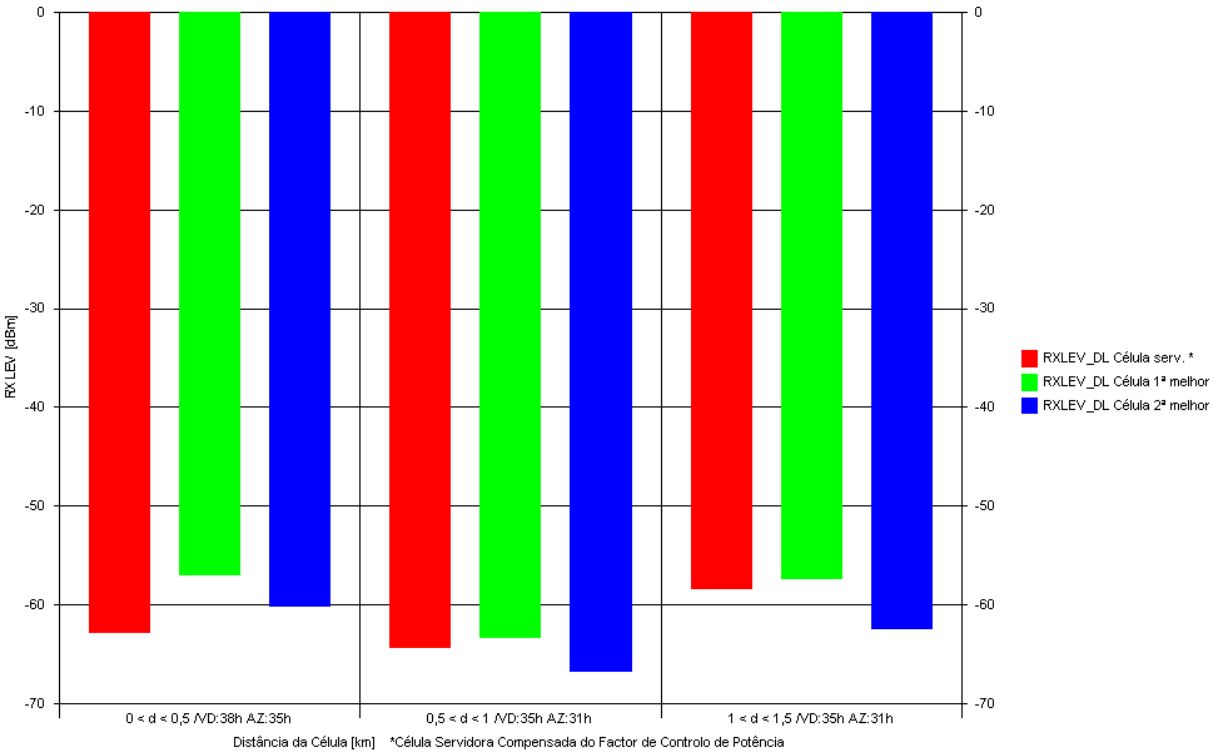

Figura D.11: Localização de Candidatas a Handover, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 08h40-08h50.

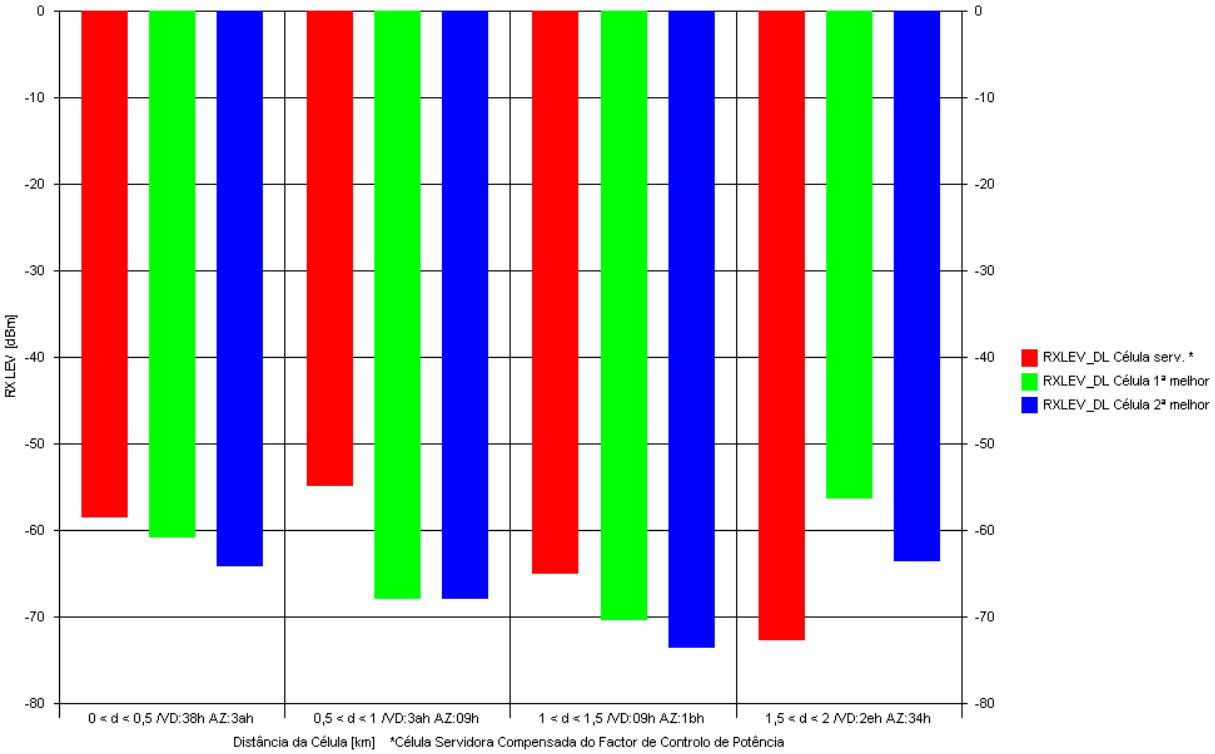

Figura D.12: Localização de Candidatas a Handover, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 19h40-19h50.

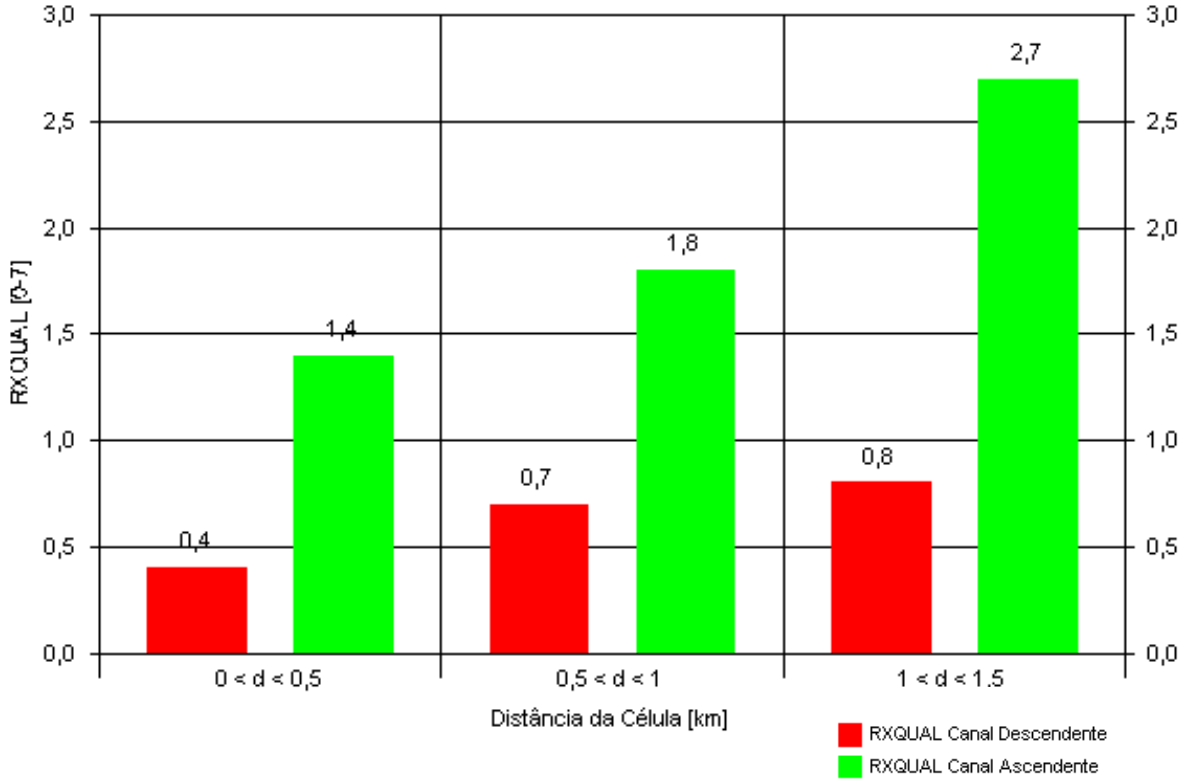

Figura D.13: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 8h40-8h50.

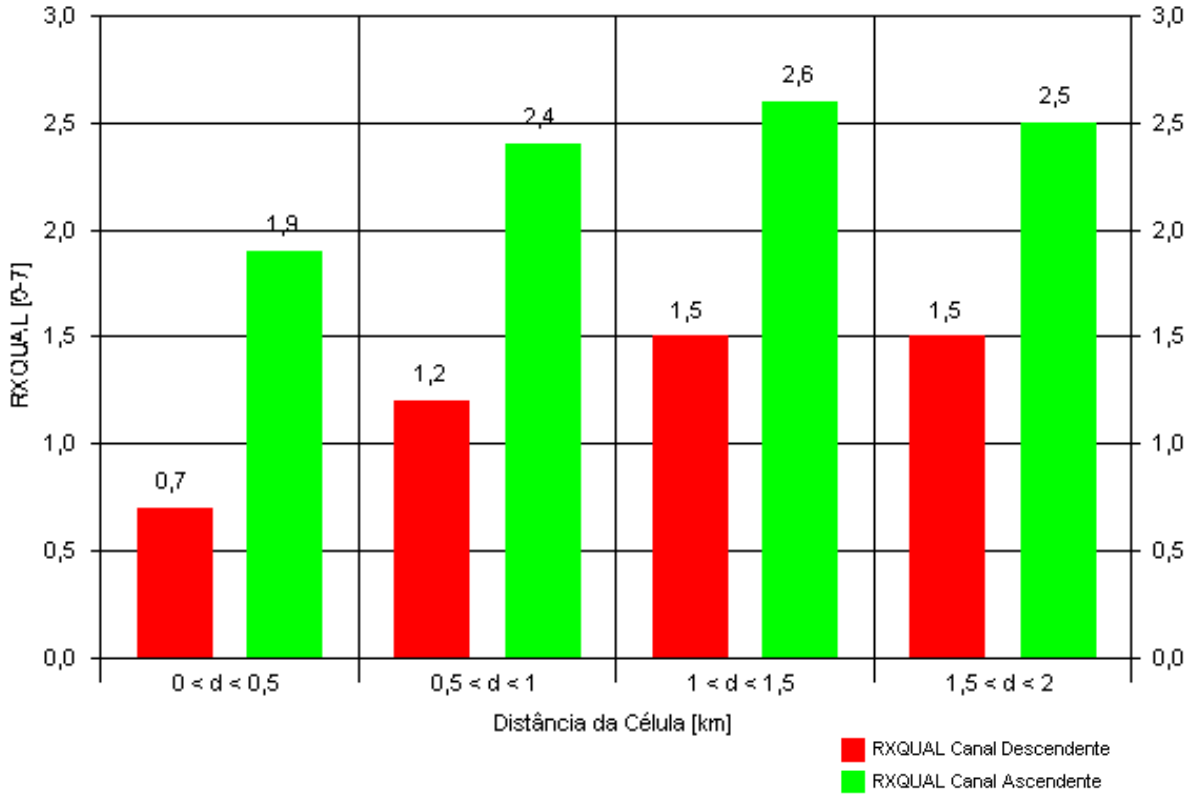

Figura D.14: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 19h40-19h50.

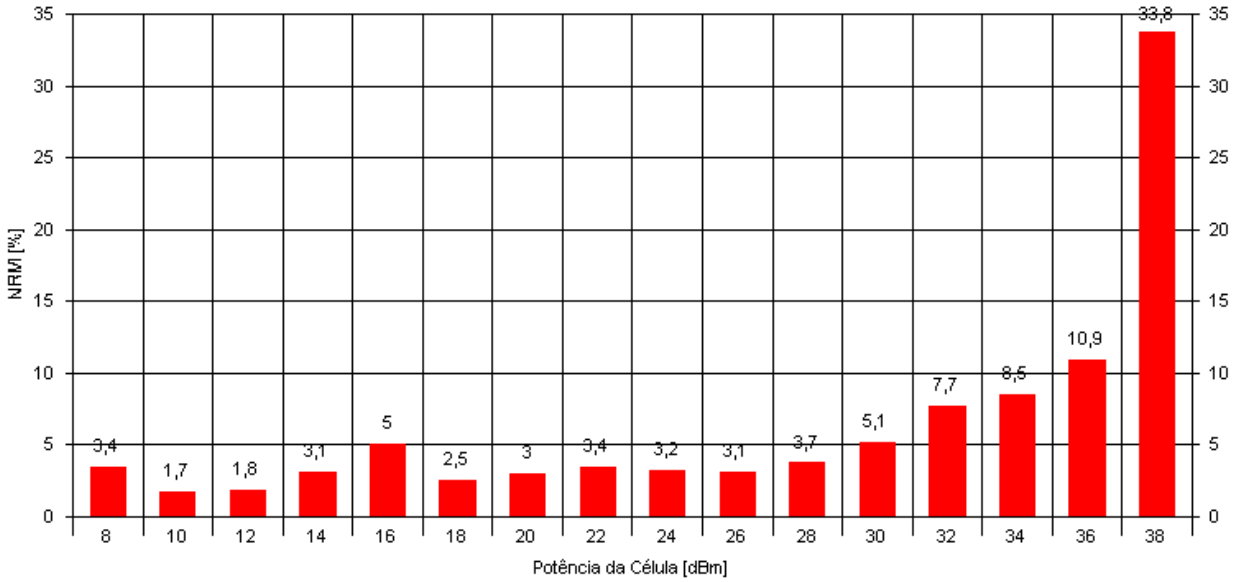

Figura D.15: Potência da Célula, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 19h40-19h50, Potência Média 30 dBm, Desvio Padrão 9,2 dBm.

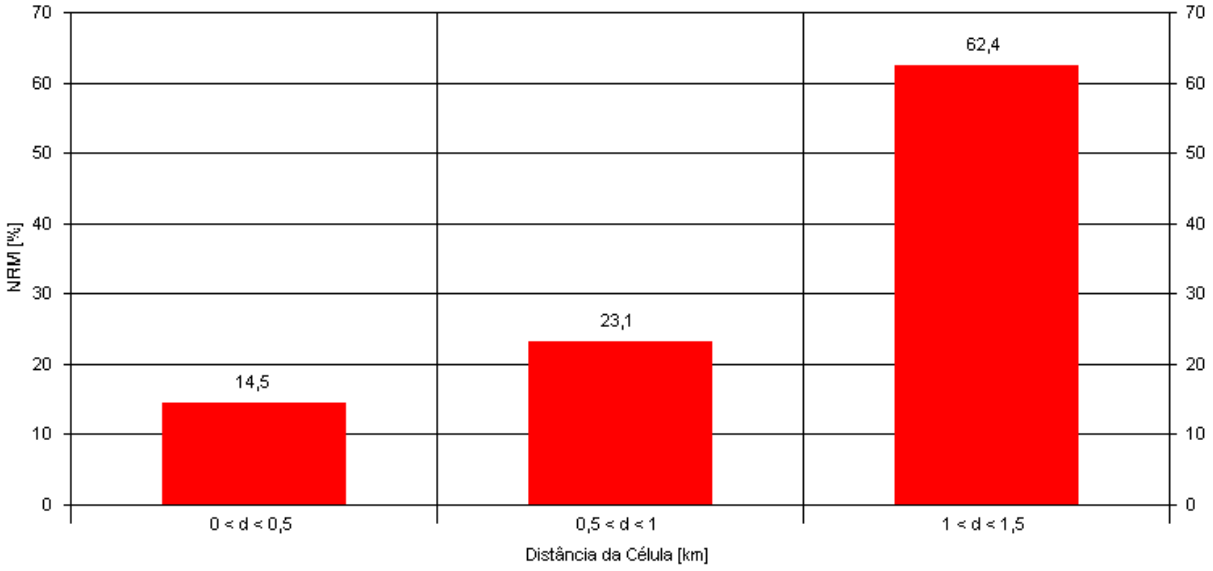

Figura D.16: Localização do Tráfego, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 8h40-8h50, Distância Média 0,99 km, Desvio Padrão 0,367 km.

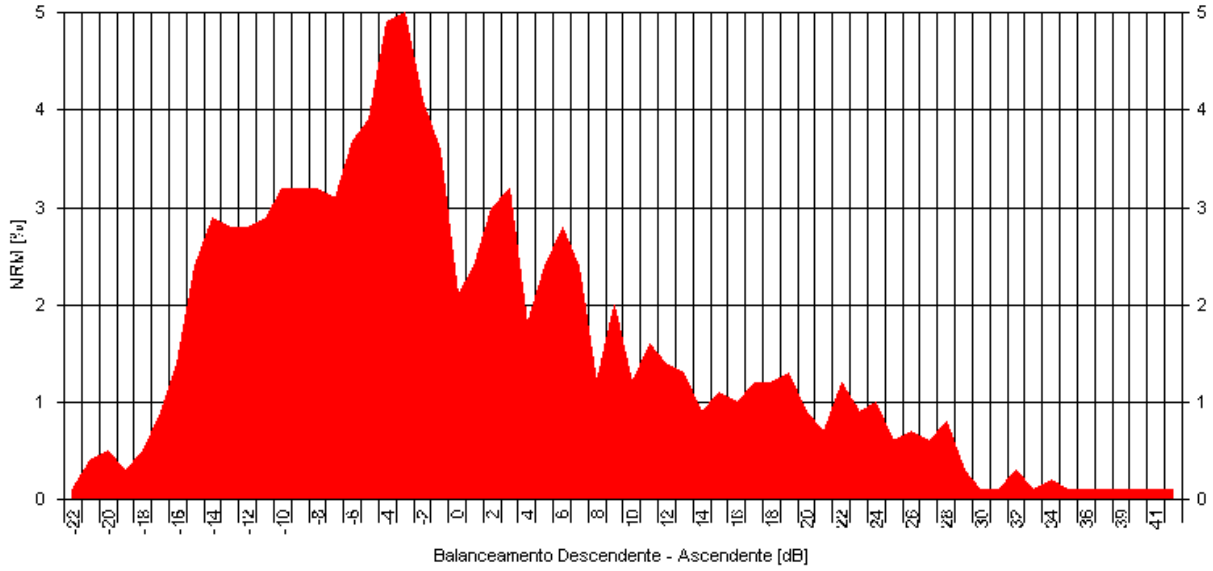

Figura D.17: Balanceamento de Potências, Viaduto 1, Amostra 10Out'01, 19h40-19h50, Valor Médio 0,6 dBm, Desvio Padrão 11,9 dBm.

D.3 VIADUTO 2

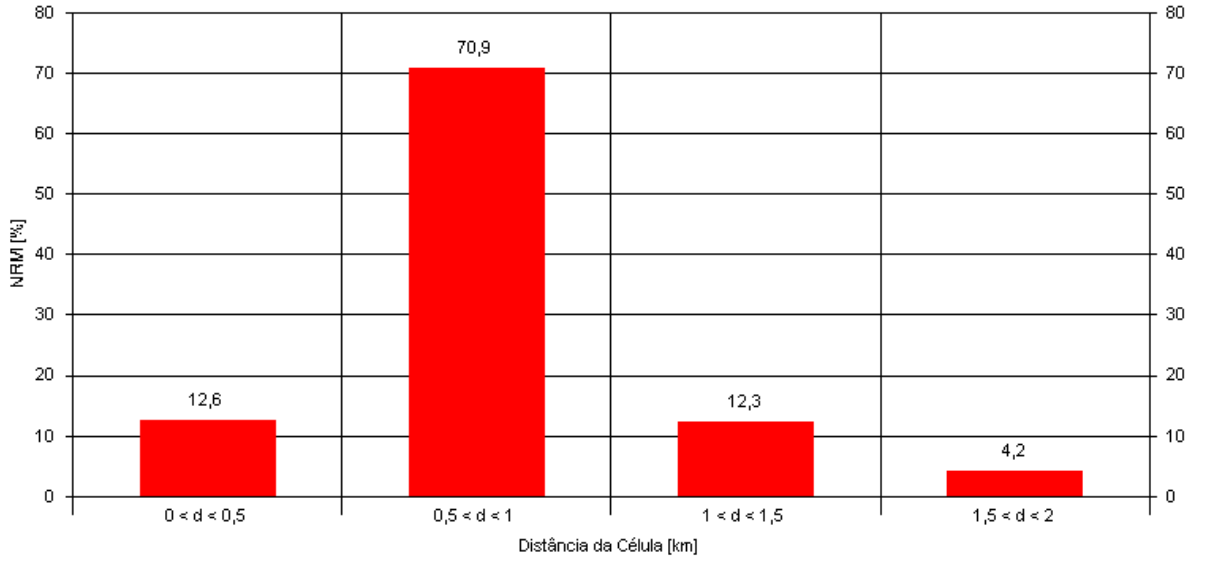

Figura D.18: Localização do Tráfego, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 10h00-10h10, Distância Média 0,791 km, Desvio Padrão 0,321 km .

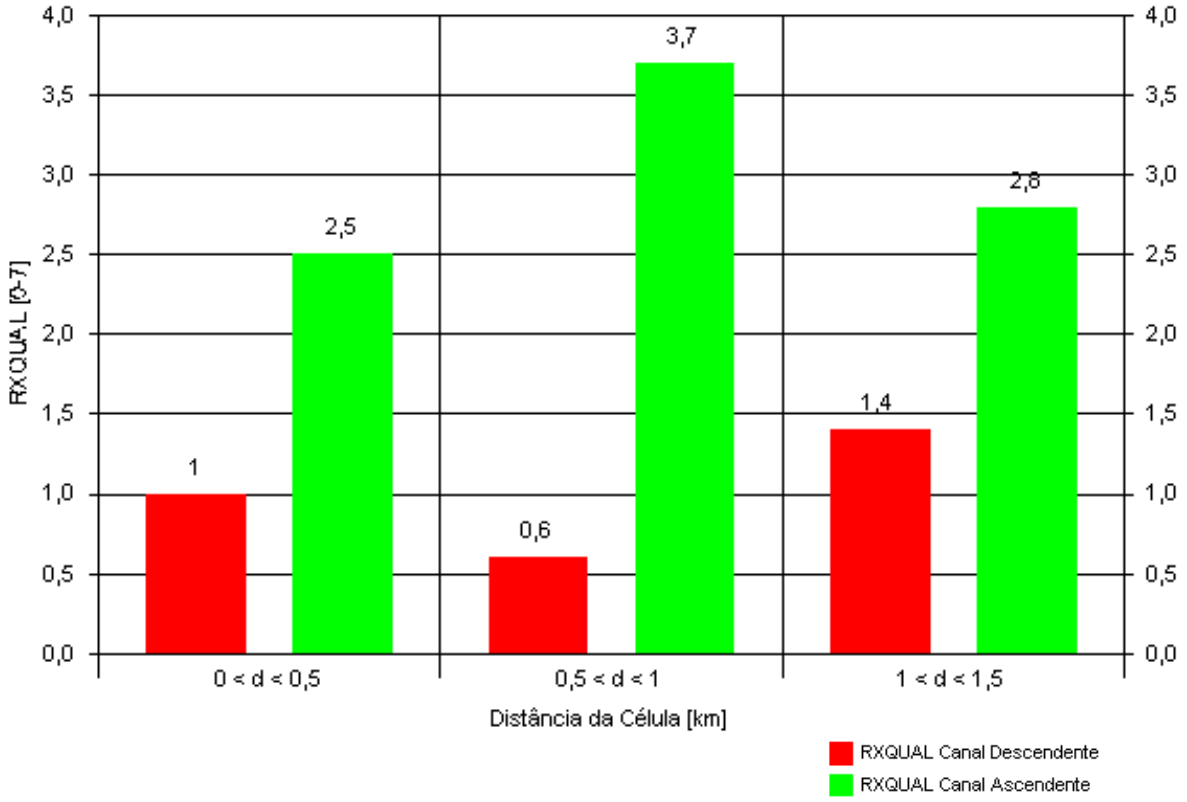

Figura D.19: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 19h00-19h10.

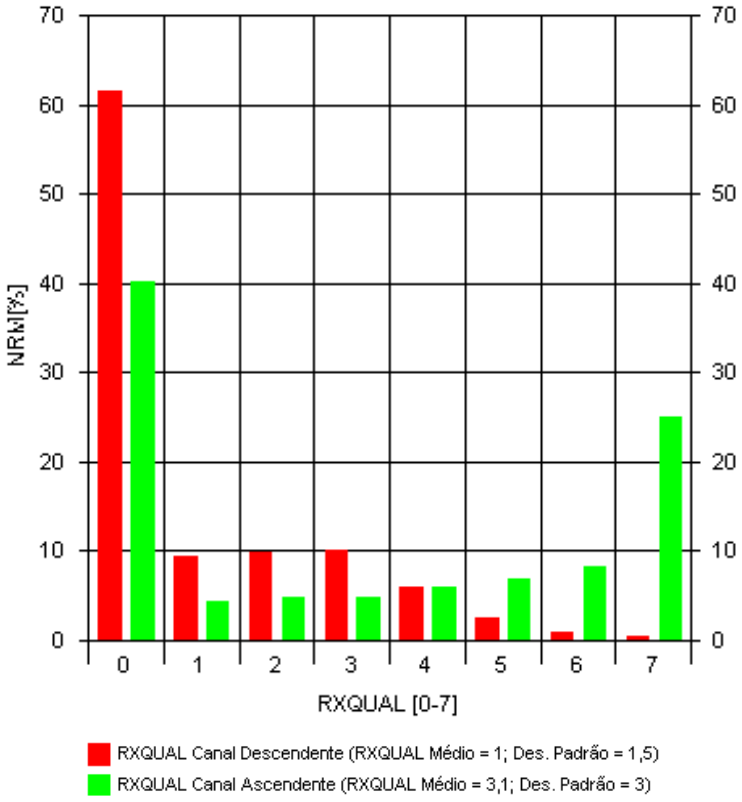

Figura D.20: Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 19h00-19h10.

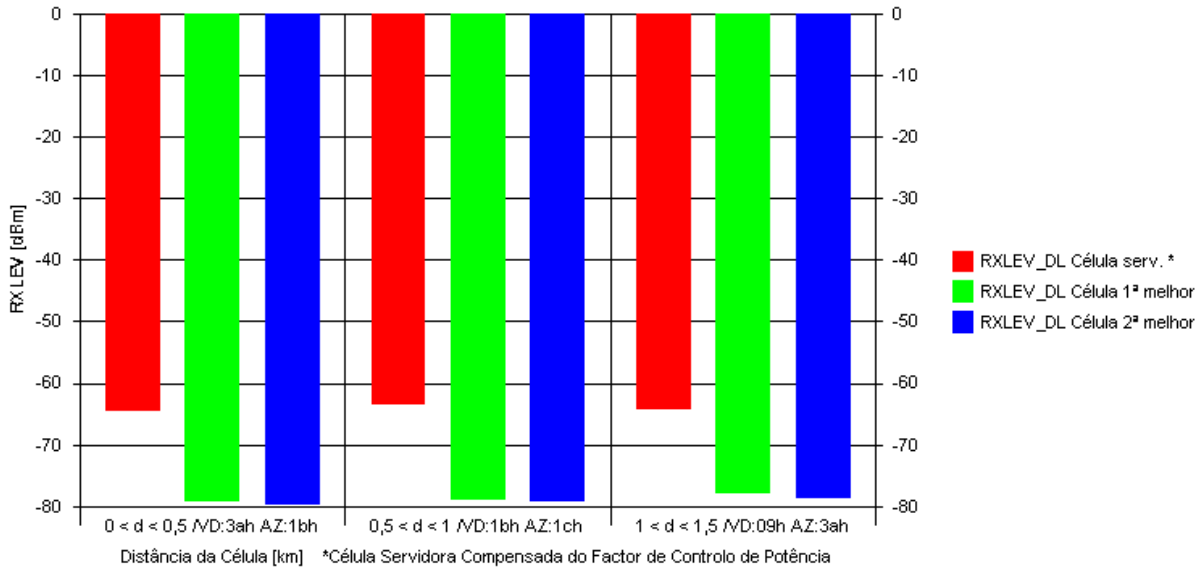

Figura D.21: Localização de Candidatas a Handover, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 19h00-19h10.

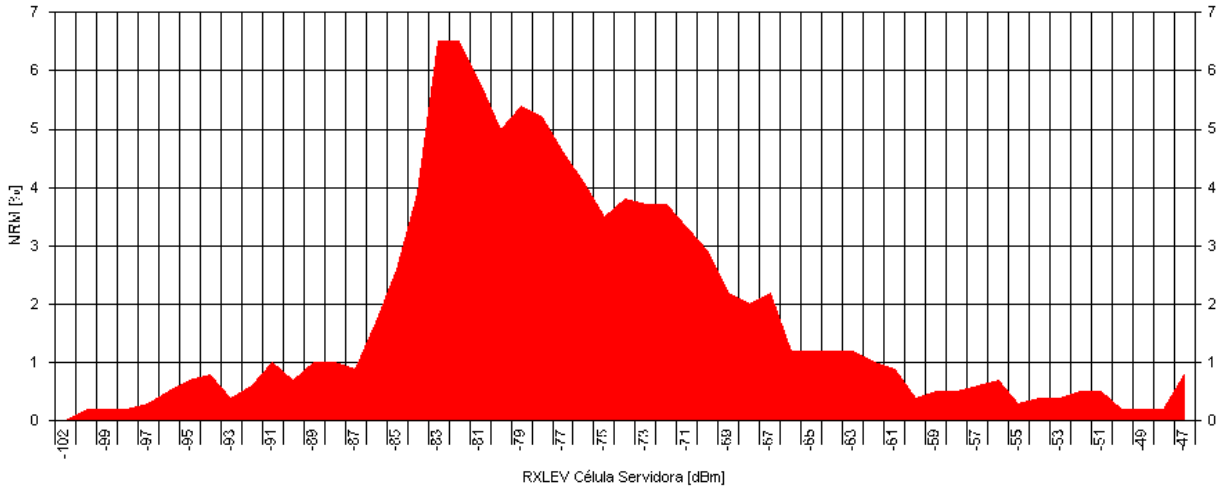

Figura D.22: Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 19h00-19h10, 4780 Amostras, Nível Médio –76,3 dBm, Desvio Padrão 9,3 dBm .

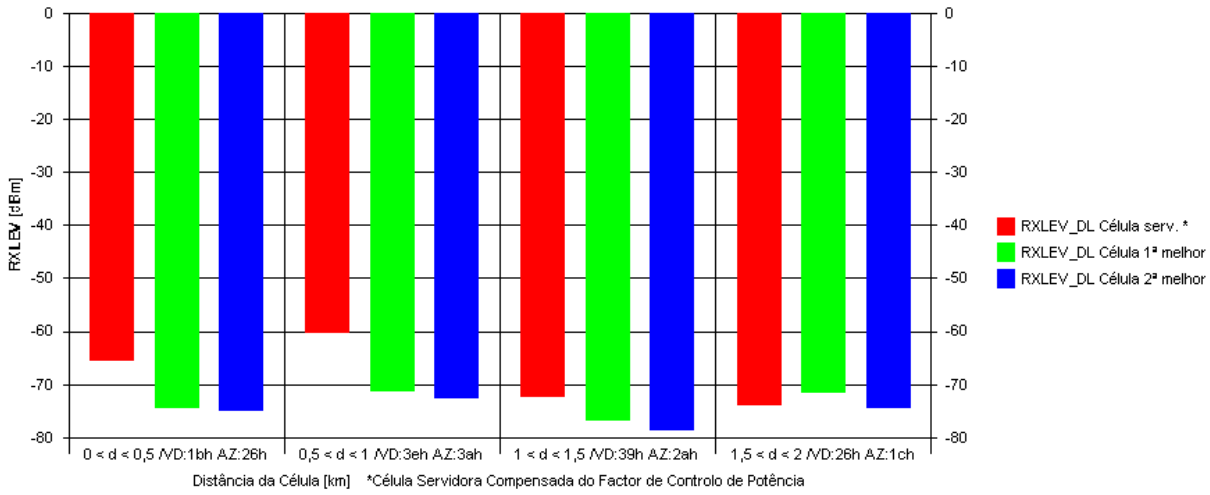

Figura D.23: Localização de Candidatas a Handover, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 10h00-10h10.

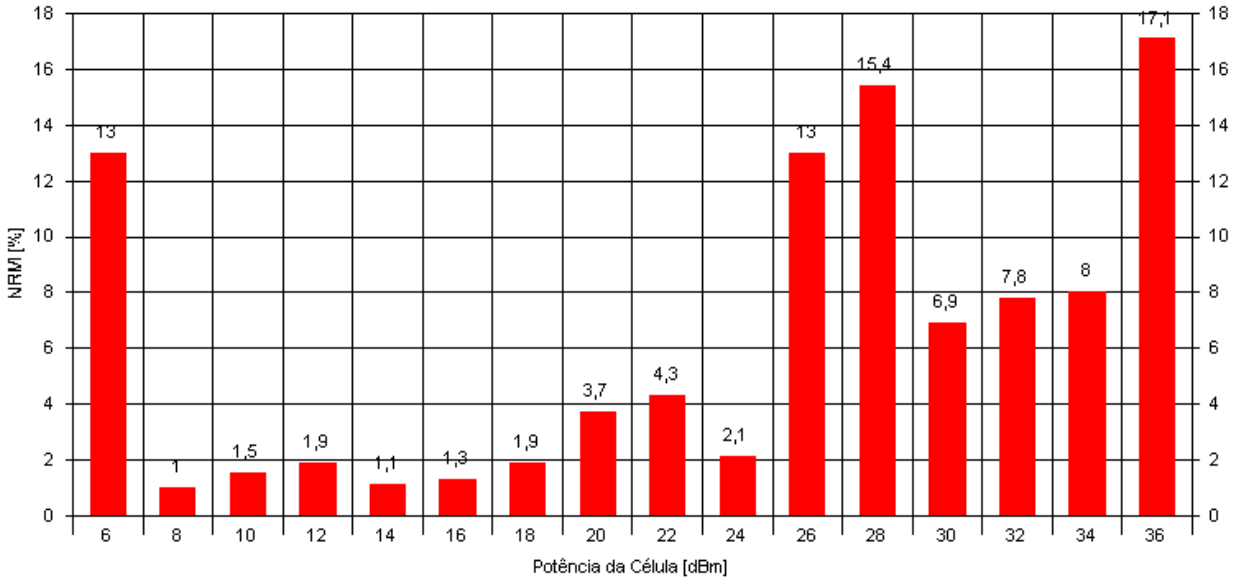

Figura D.24: Potência da Célula, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 10h00-10h10, Potência Média 25,3 dBm, Desvio Padrão 9,8 dBm .

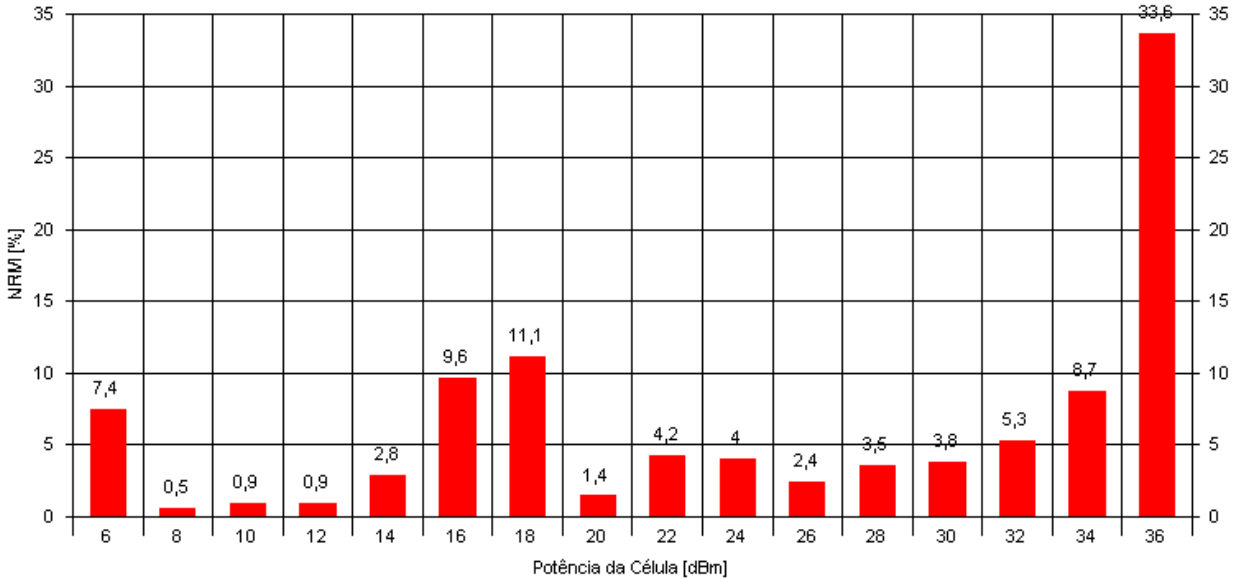

Figura D.25: Potência da Célula, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 20h00-20h10, Potência Média 26,3 dBm, Desvio Padrão 9,9 dBm.

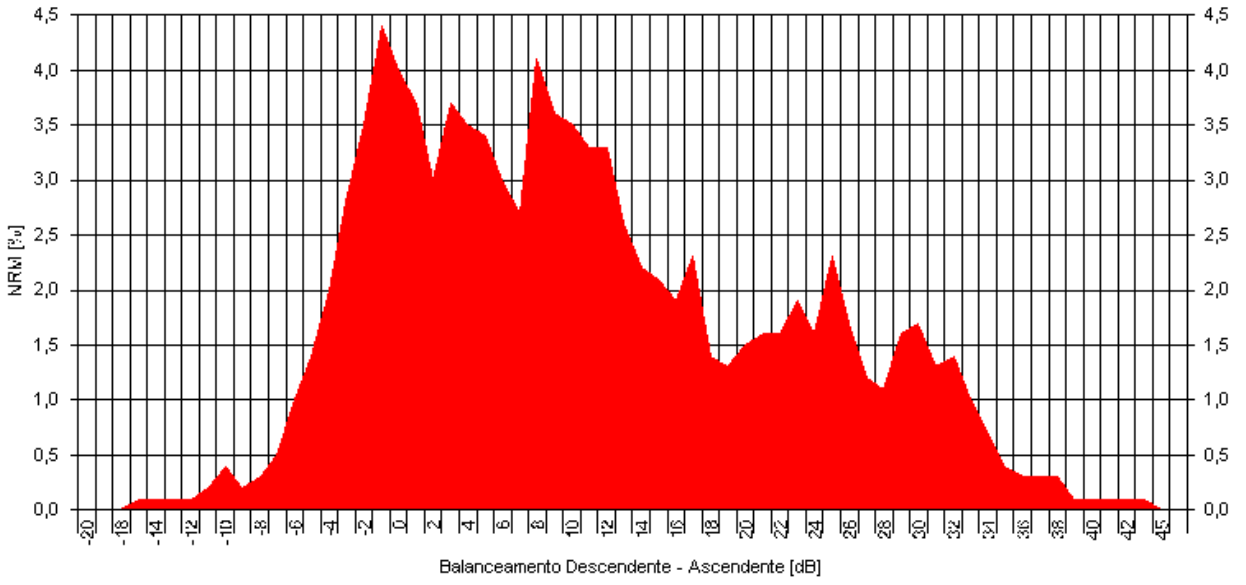

Figura D.26: Balanceamento de Potências, Viaduto 2, Amostra 10Out'01, 19h00-19h10, Valor Médio 10,8 dBm, Desvio Padrão 11,4 dBm.

D.4 VIADUTO 3

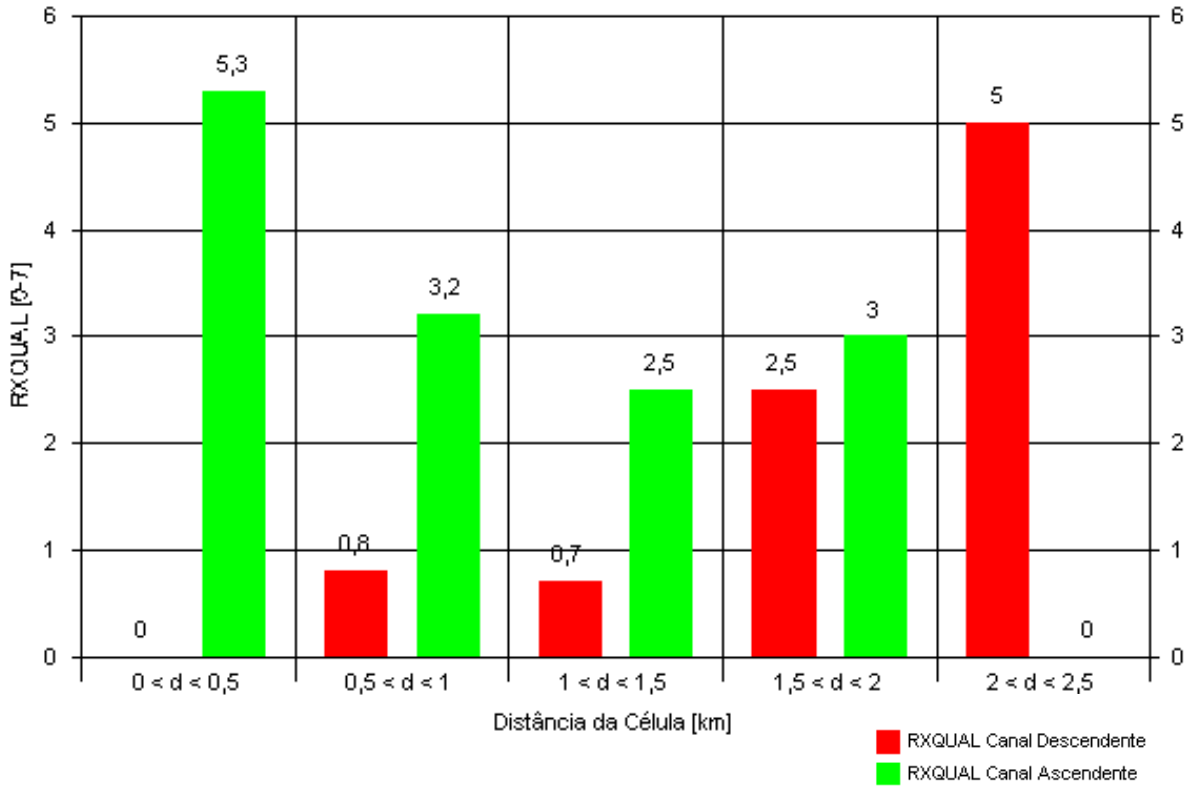

Figura D.27: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20.

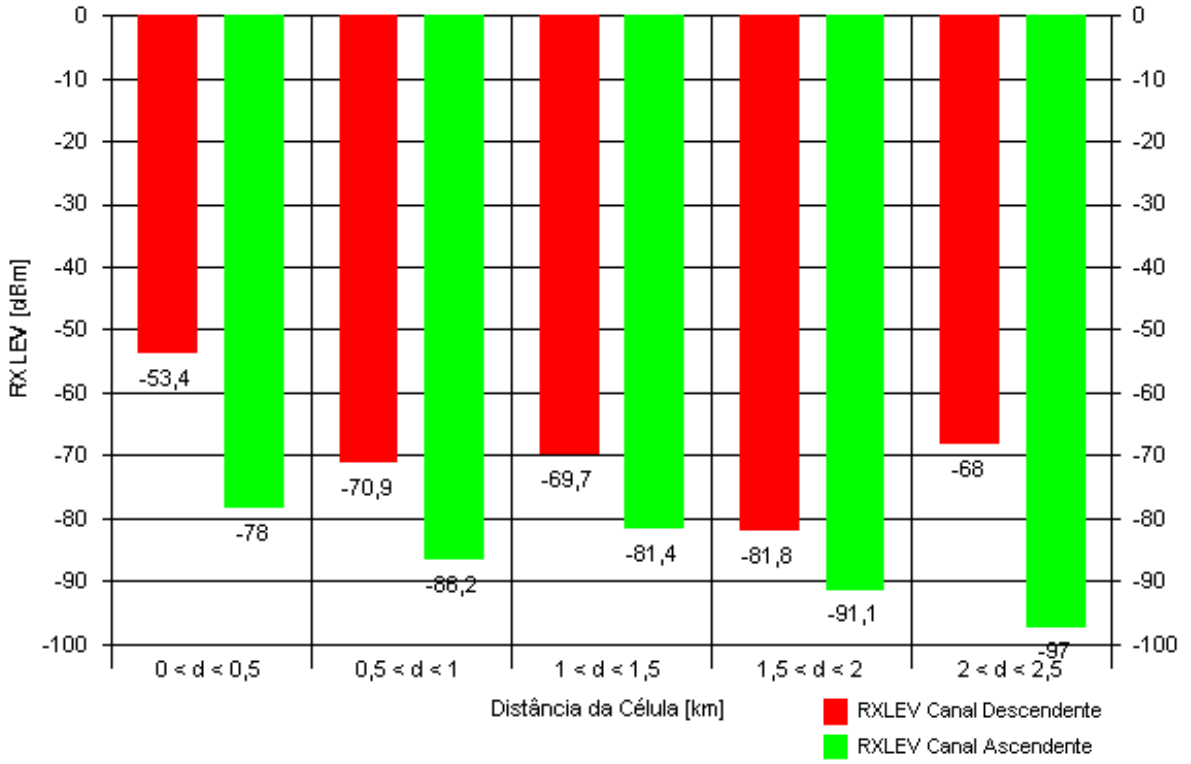

Figura D.28: Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20.

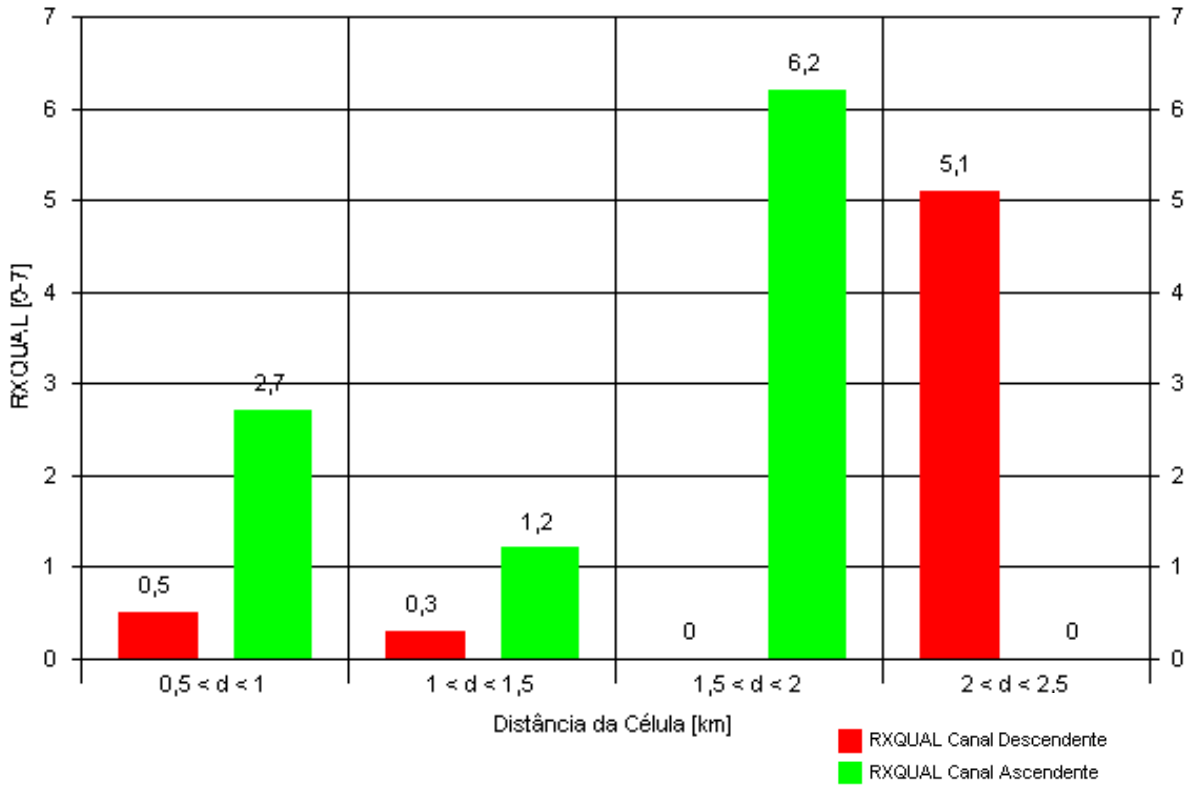

Figura D.29: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

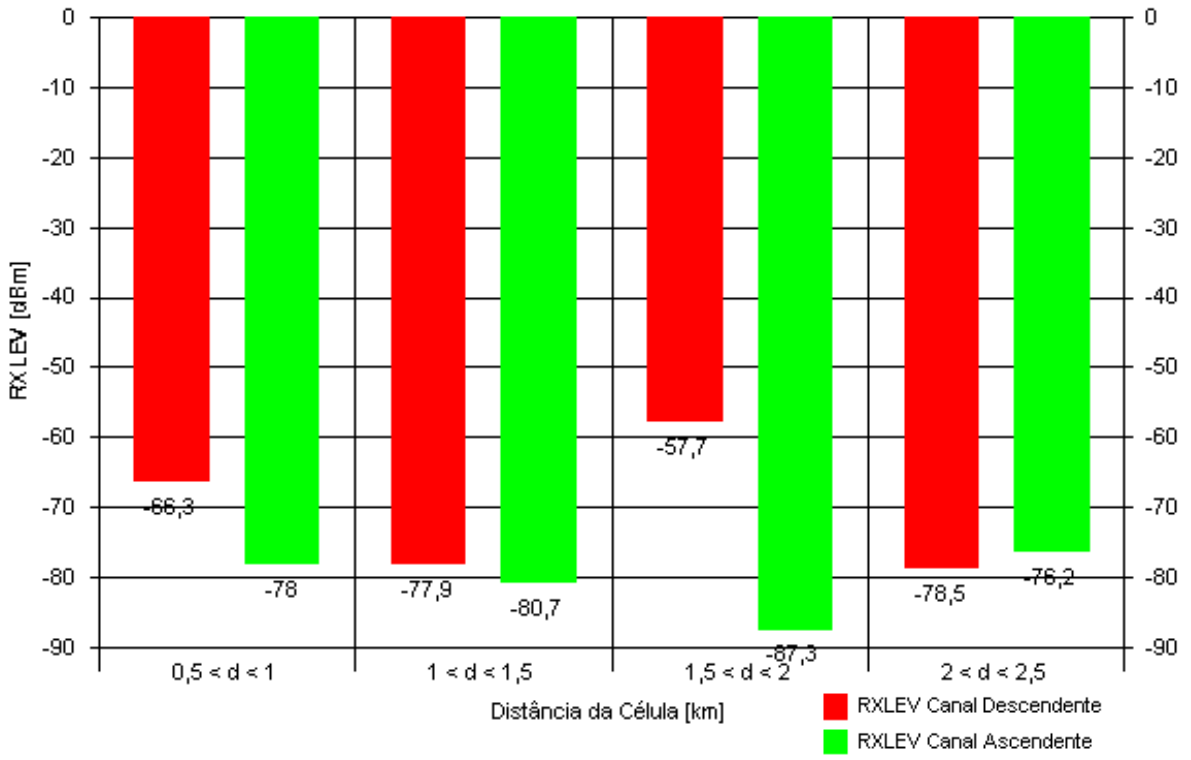

Figura D.30: Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

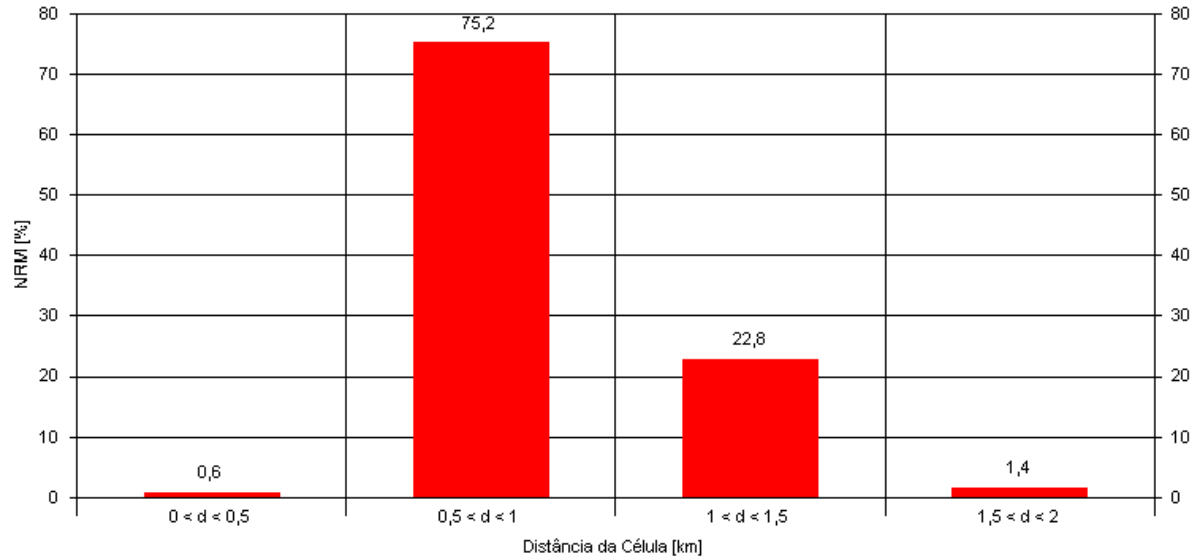

Figura D.31: Localização do Tráfego, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 9h10-9h20, Distância Média 0,875 km, Desvio Padrão 0,238 km.

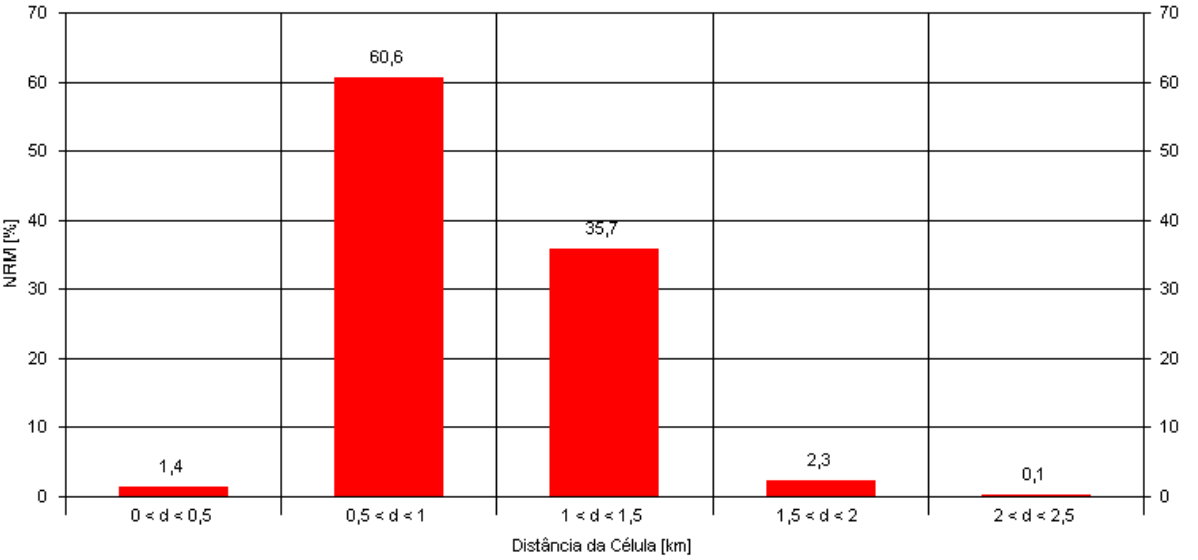

Figura D.32: Localização do Tráfego, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20, Distância Média 0,945 km, Desvio Padrão 0,28 km .

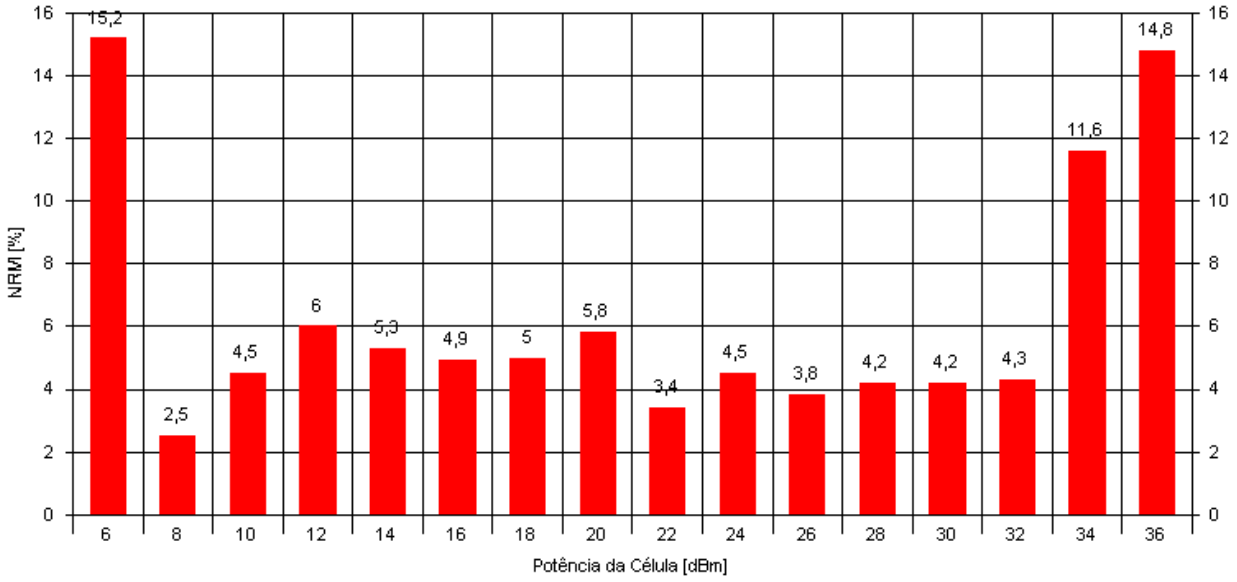

Figura D.33: Potência da Célula, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 9h10-9h20, Potência Média 21,8 dBm, Desvio Padrão 10,8 dBm.

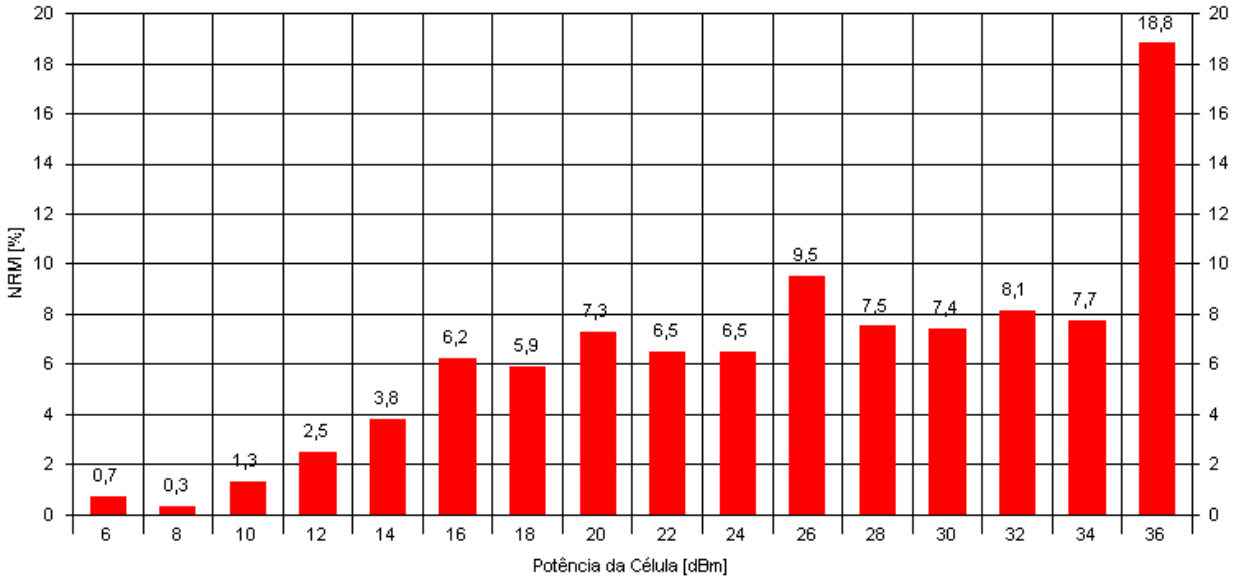

Figura D.34: Potência da Célula, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20, Potência Média 26,3 dBm, Desvio Padrão 7,7 dBm.

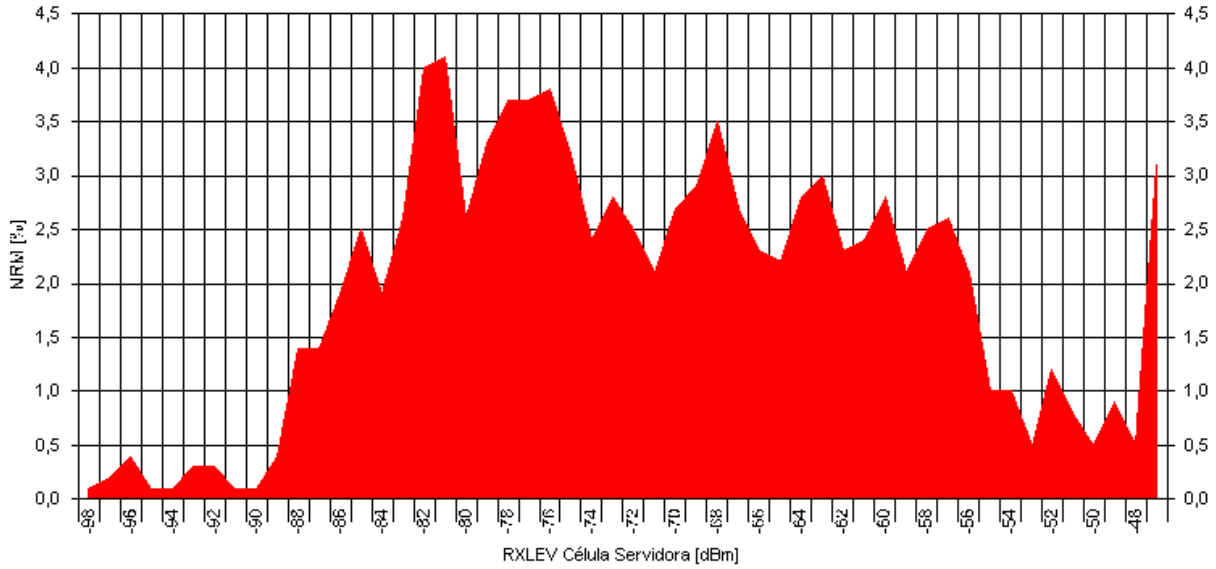

Figura D.35: Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20, 1549 Amostras, Nível Médio –70,5 dBm, Desvio Padrão 11,1 dBm.

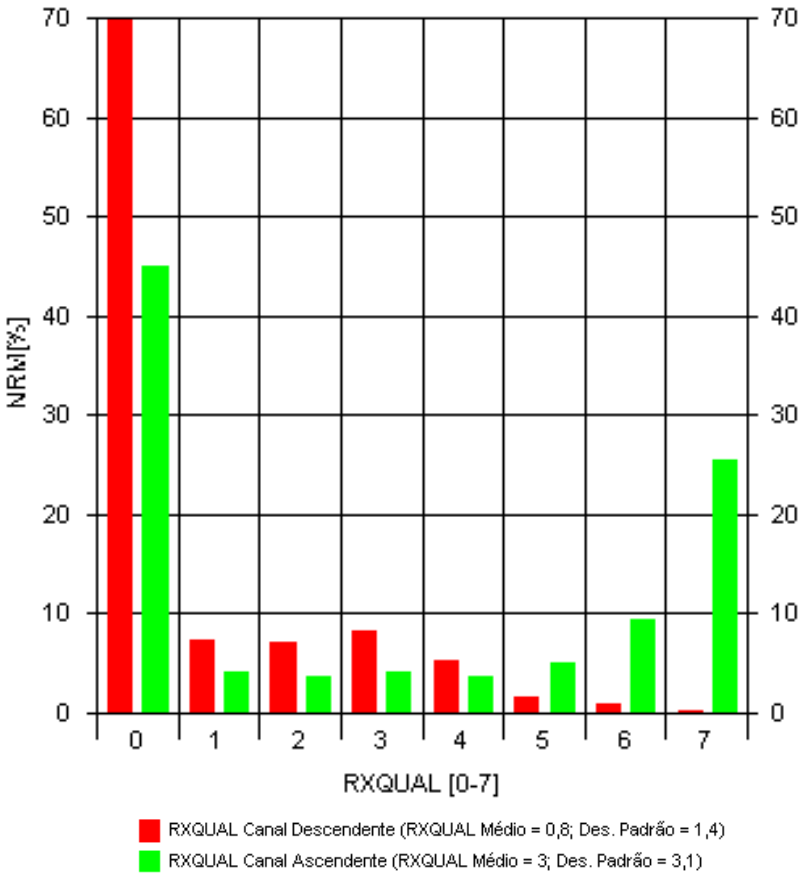

Figura D.36: Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20.

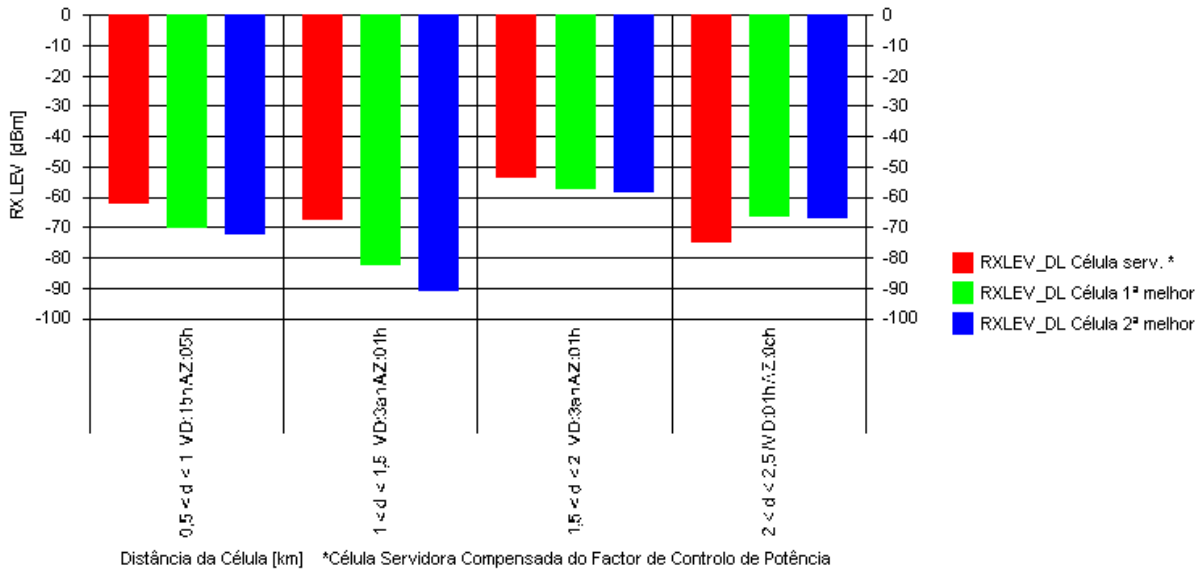

Figura D37: Localização de Candidatas a Handover, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

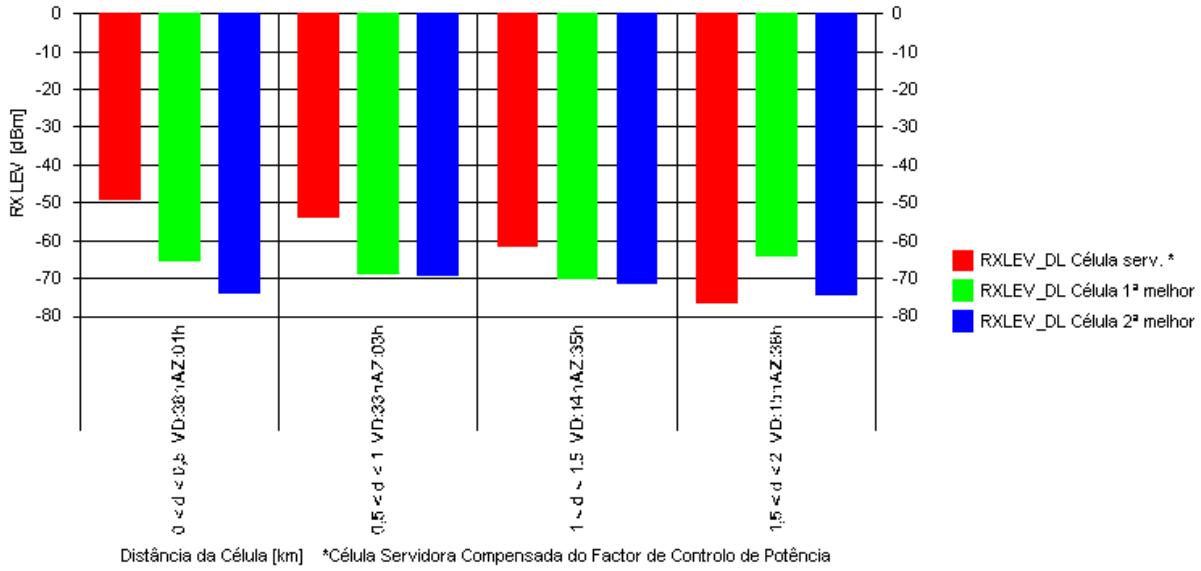

Figura D.38: Localização de Candidatas a Handover, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20.

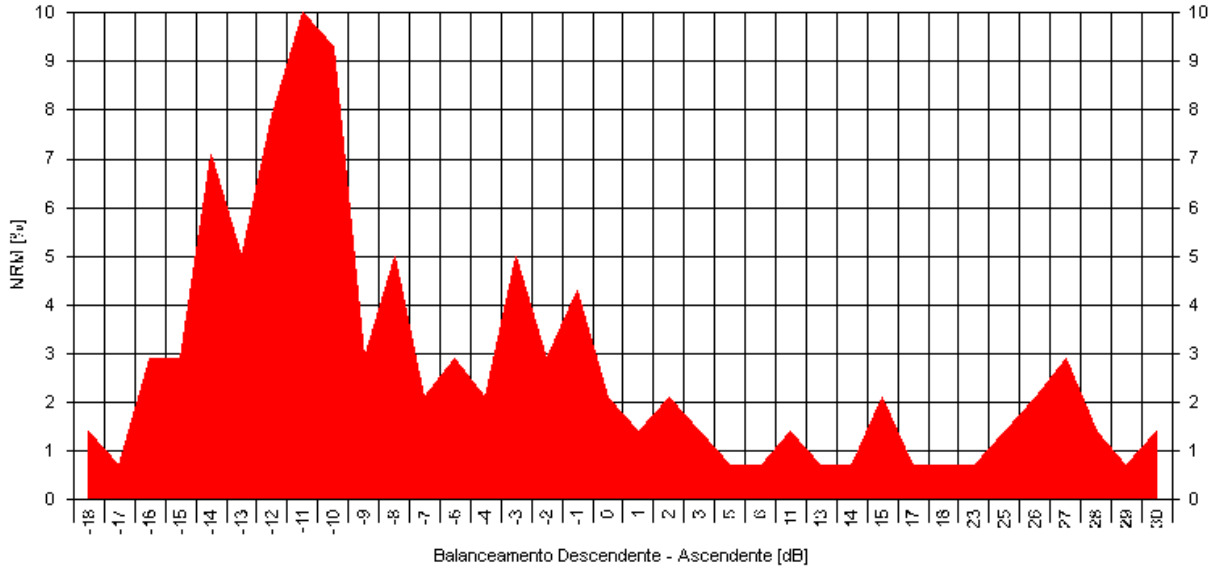

Figura D.39: Balanceamento de Potências, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20, Valor Médio –3,2 dBm, Desvio Padrão 12,9 dBm.

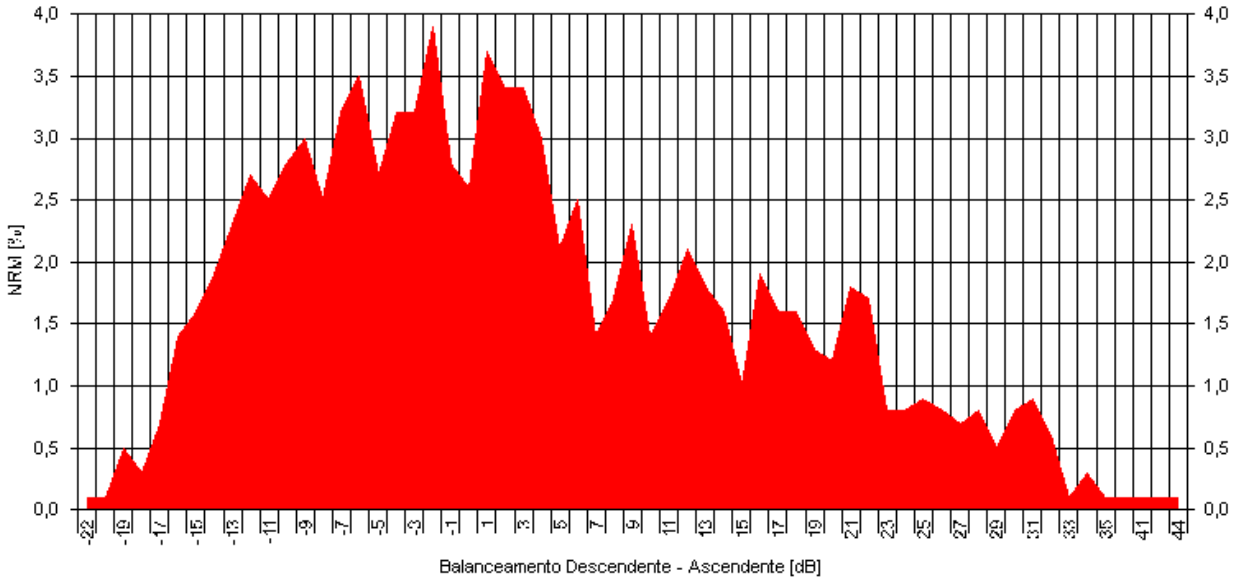

Figura D.40: Balanceamento de Potências, Viaduto 3, Amostra 10Out'01, 19h10-19h20, Valor Médio 3 dBm, Desvio Padrão 12,5 dBm.

D.5 BELÉM

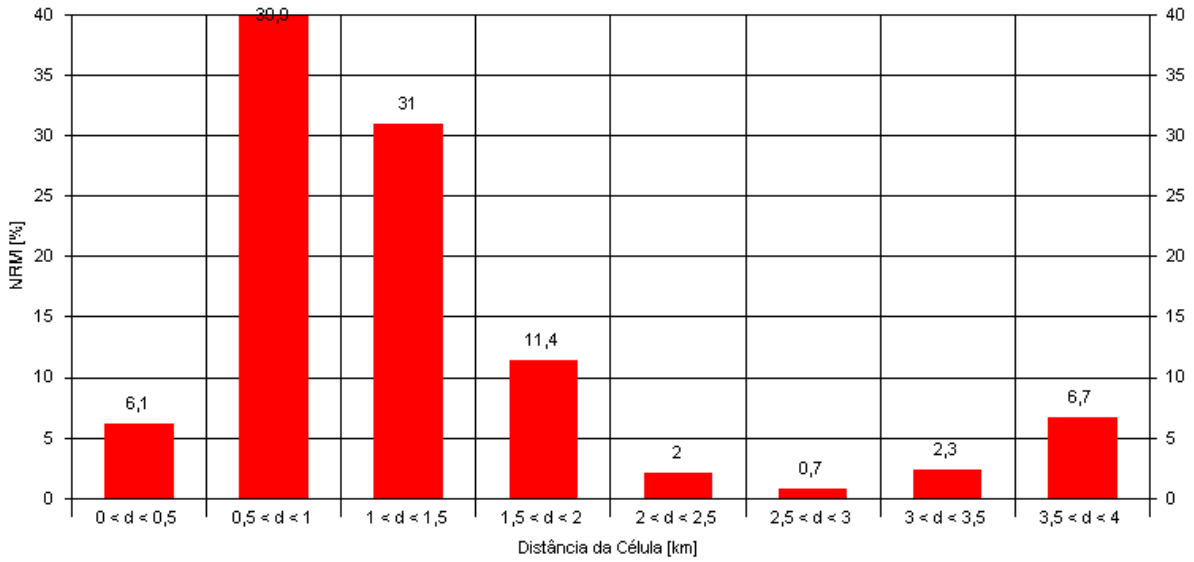

Figura D.41: Localização do Tráfego, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40, Distância Média 1,29 km, Desvio Padrão 0,856 km.

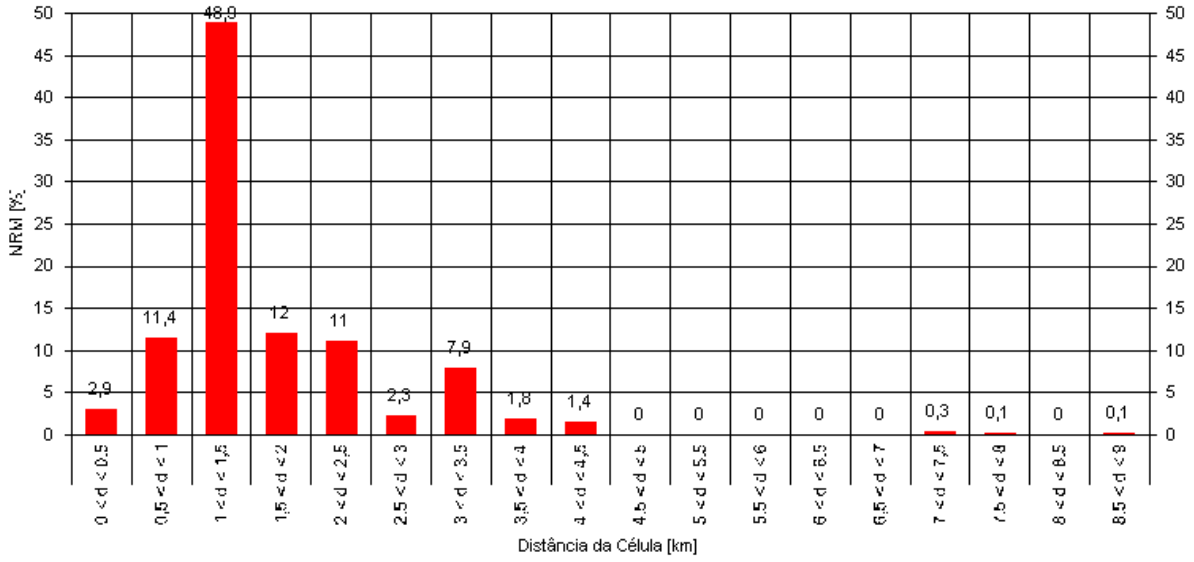

Figura D.42 Localização do Tráfego, Belém, Amostra 11Out'01, 18h30-18h40, Distância Média 1,643 km, Desvio Padrão 0,912 km.

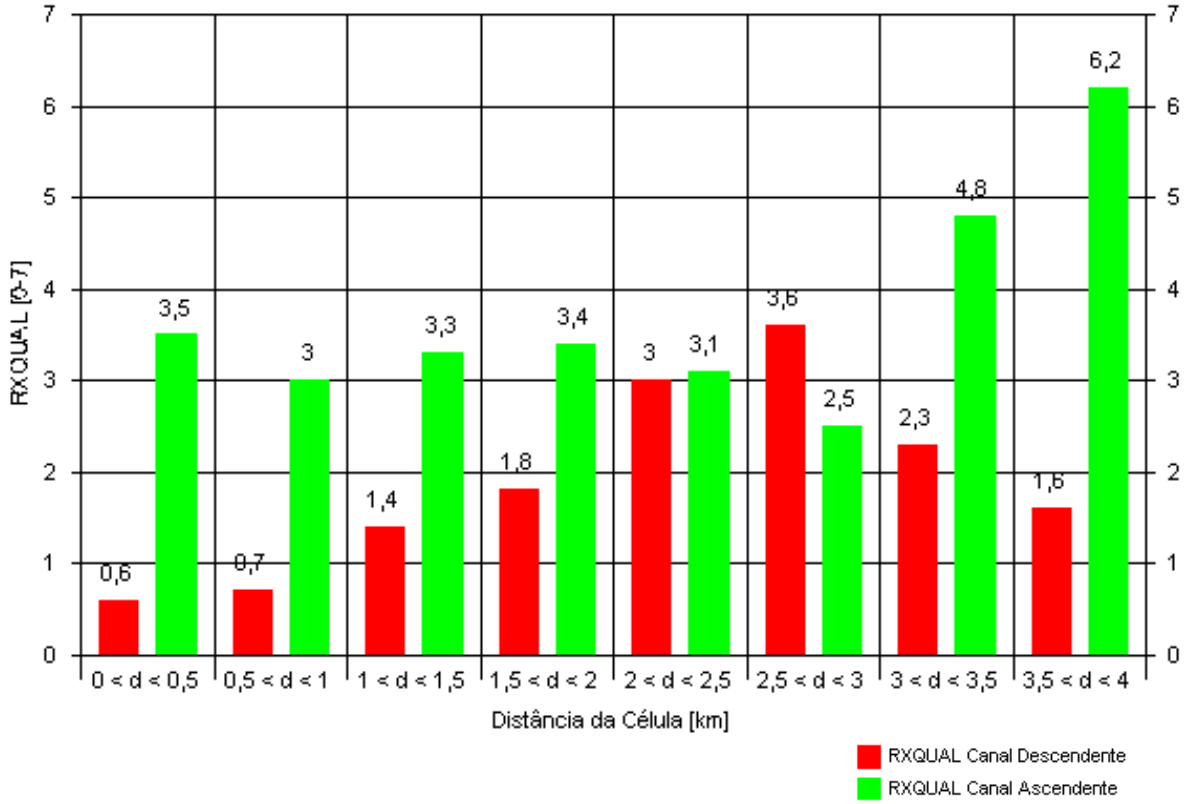

Figura D.43: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40.

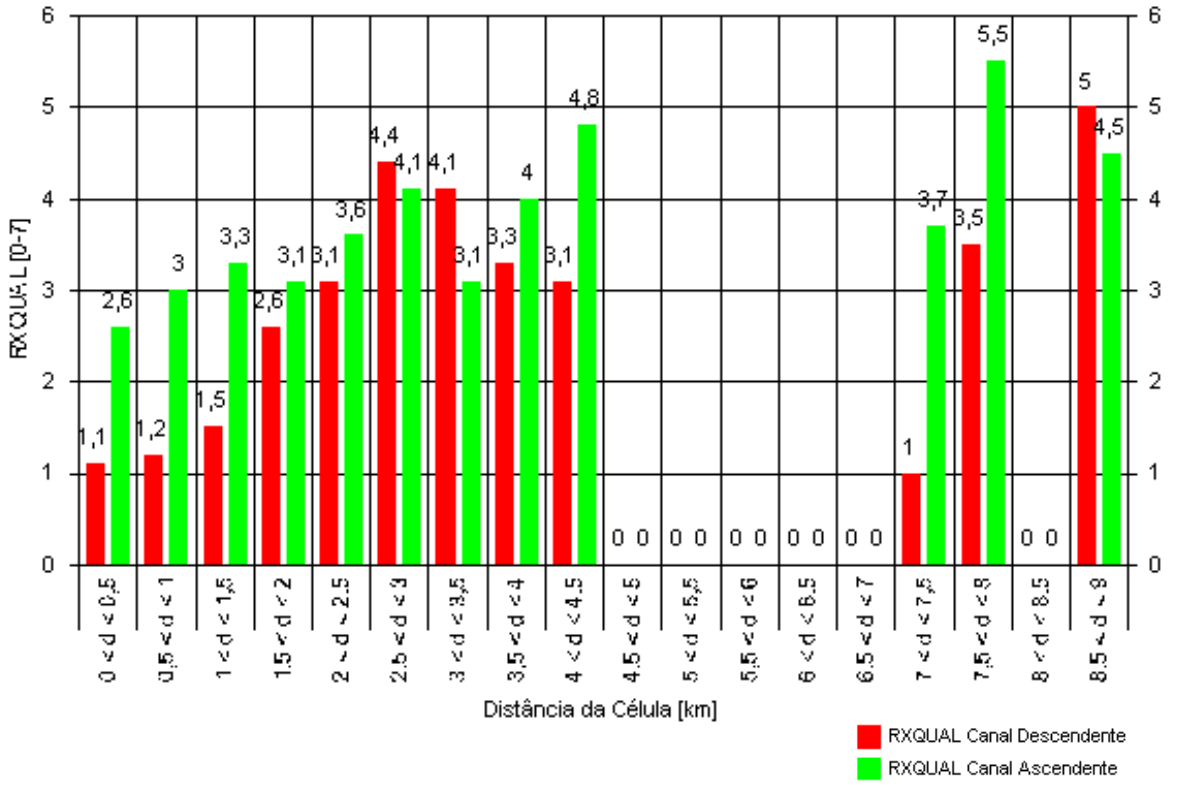

Figura D.44: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, Amostra 11Out'01, 18h30-18h40.

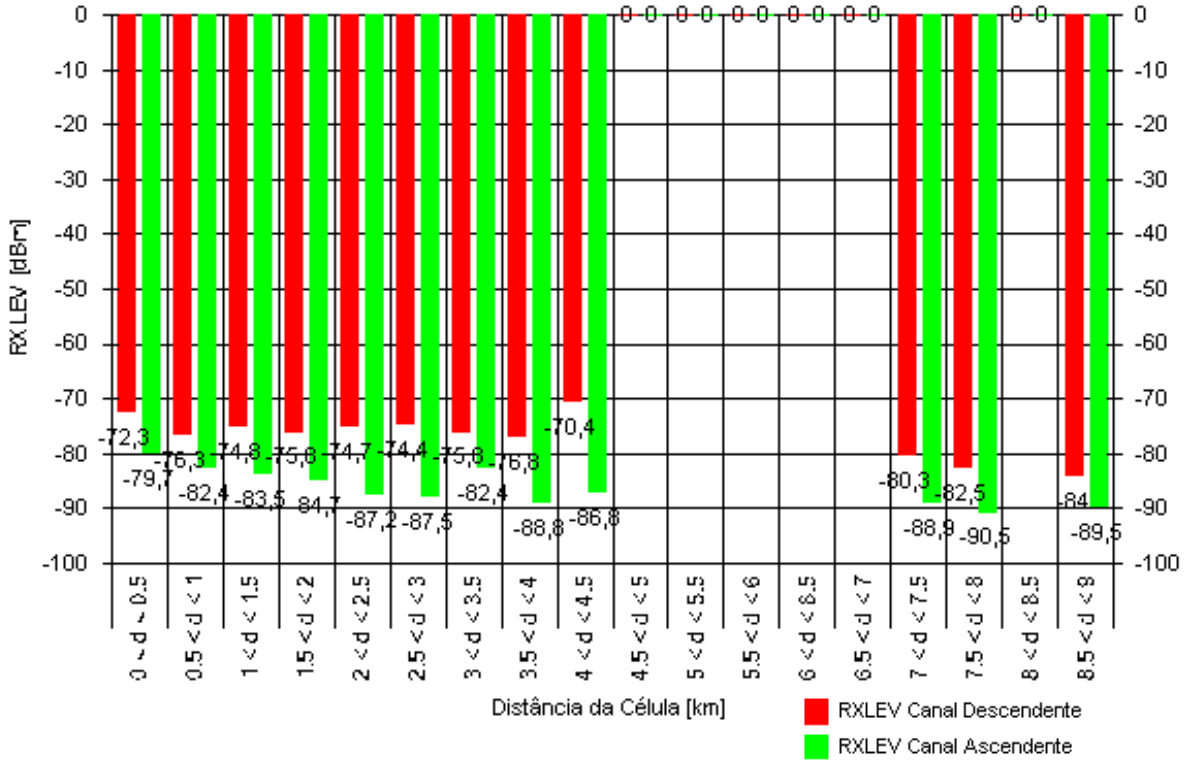

Figura D.45: Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, Amostra 11Out'01, 18h30-18h40.

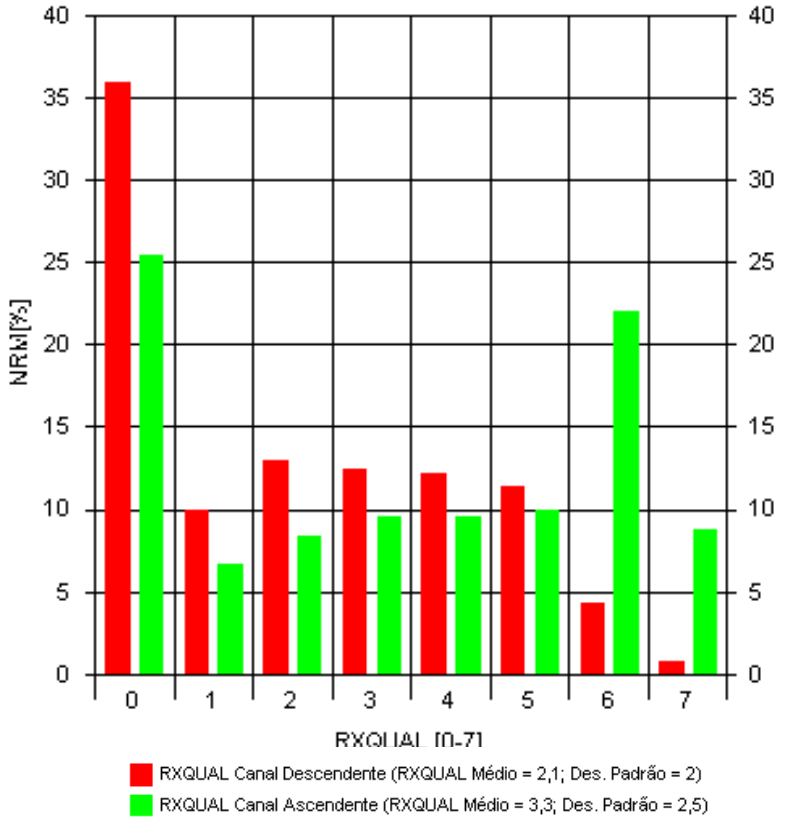

Figura D.46: Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, Amostra 11Out'01, 18h30-18h40.

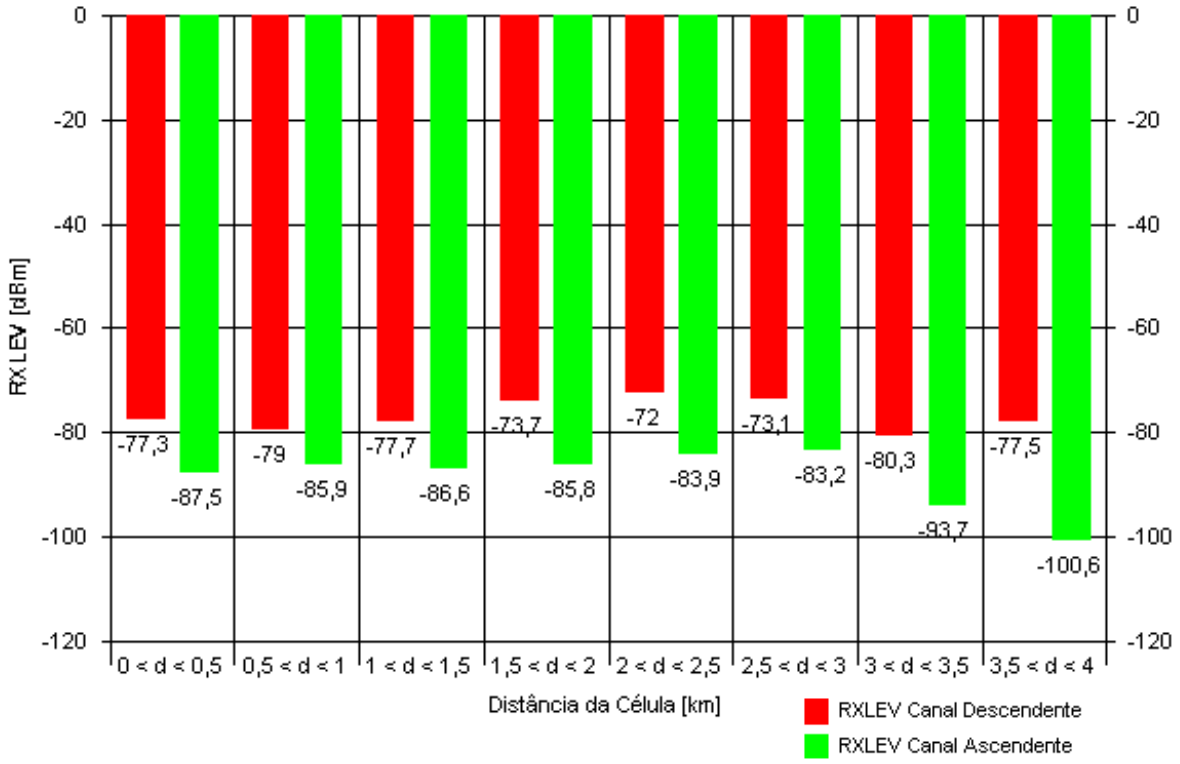

Figura D.47: Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40.

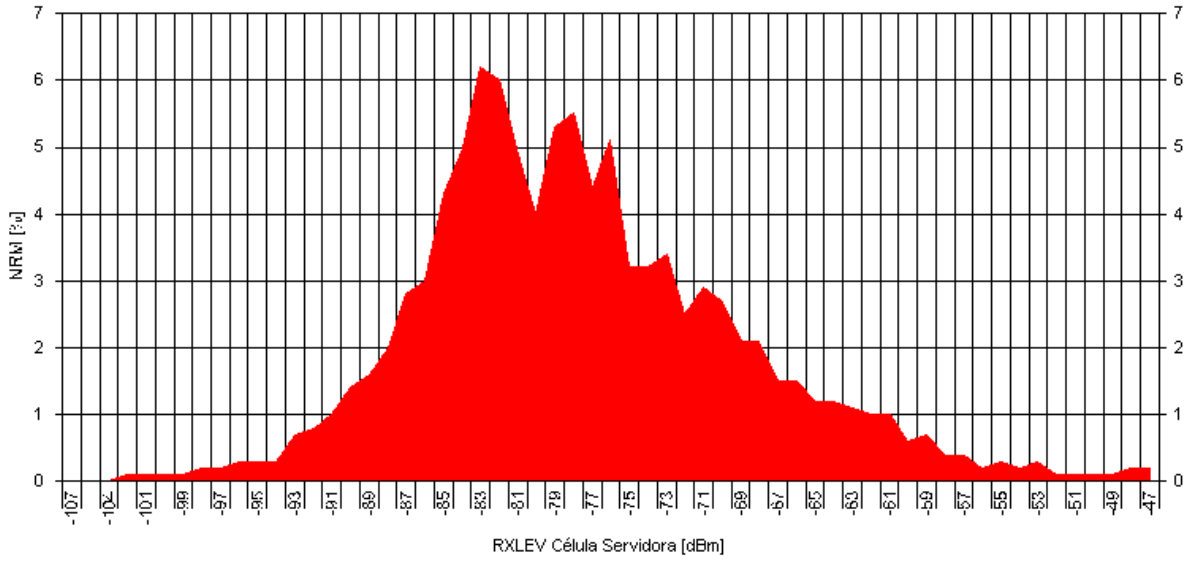

Figura D.48: Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40, 3942 Amostras, Nível Médio –77,6 dBm, Desvio Padrão 8,6 dBm .

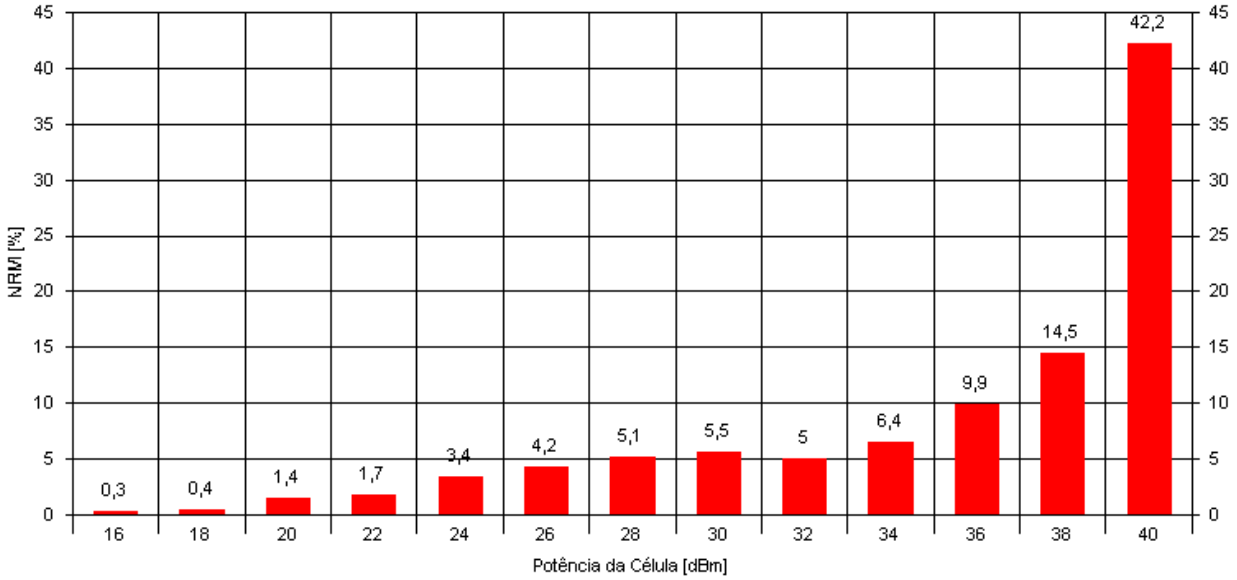

Figura D.49: Potência da Célula, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40, Potência Média 35,5 dBm, Desvio Padrão 5,7 dBm.

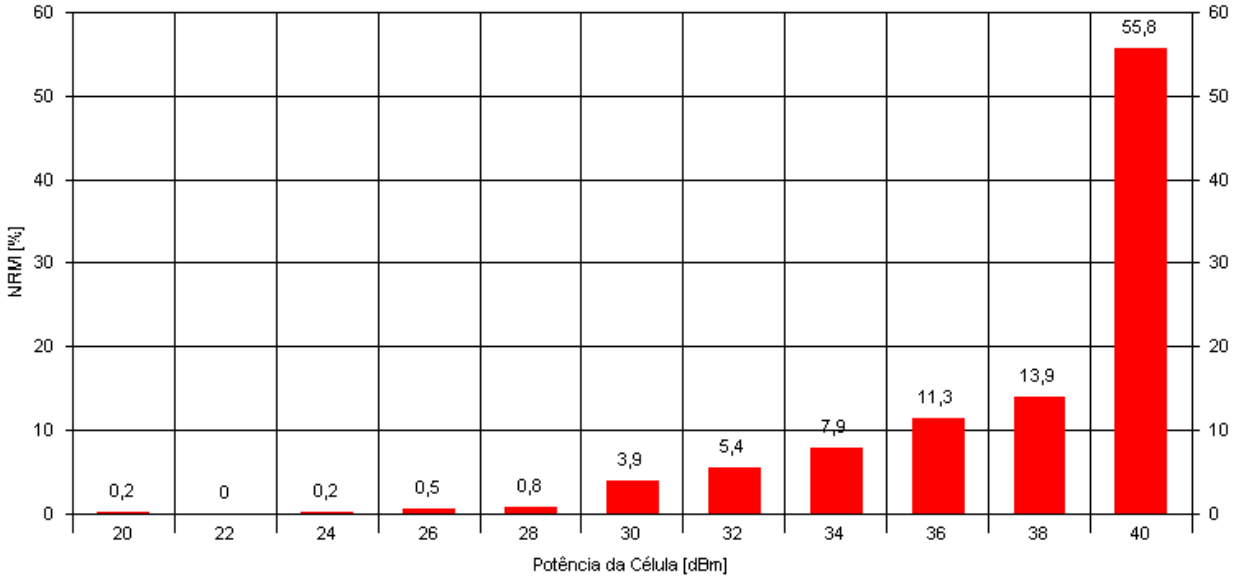

Figura D.50: Potência da Célula, Belém, Amostra 11Out'01, 18h30-18h40, Potência Média 37,7 dBm, Desvio Padrão 3,3 dBm .

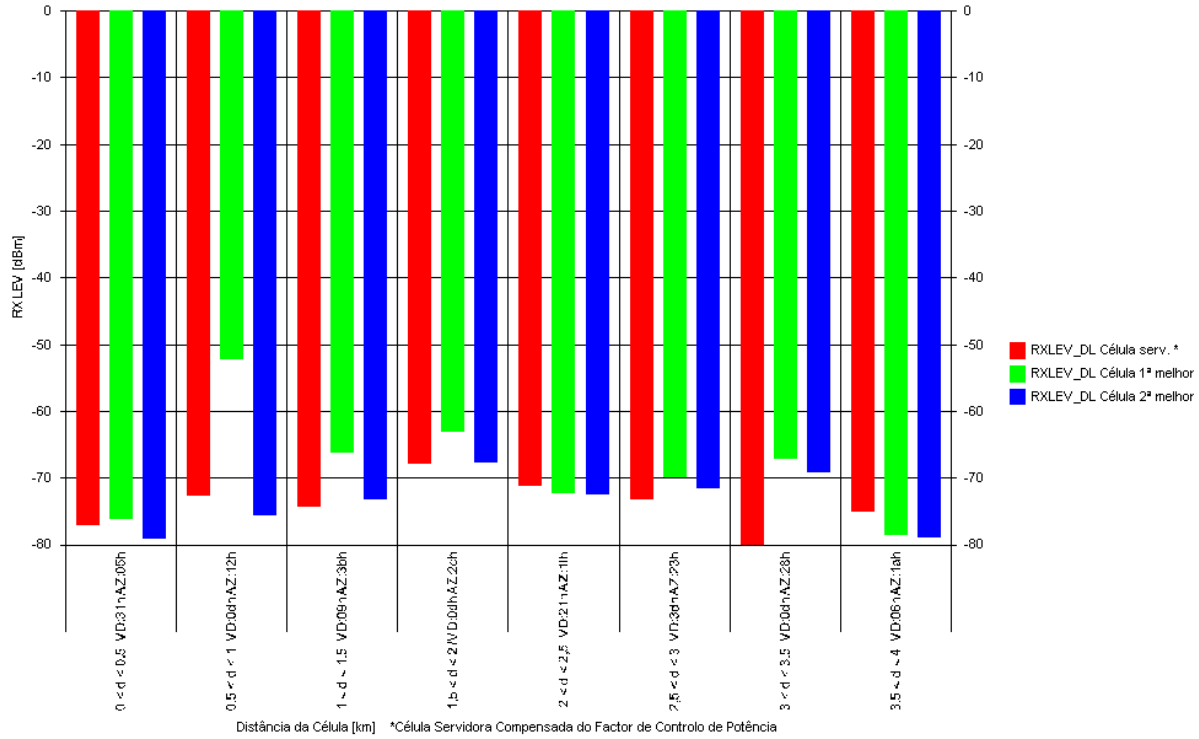

Figura D.51: Localização de Candidatas a Handover, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40.

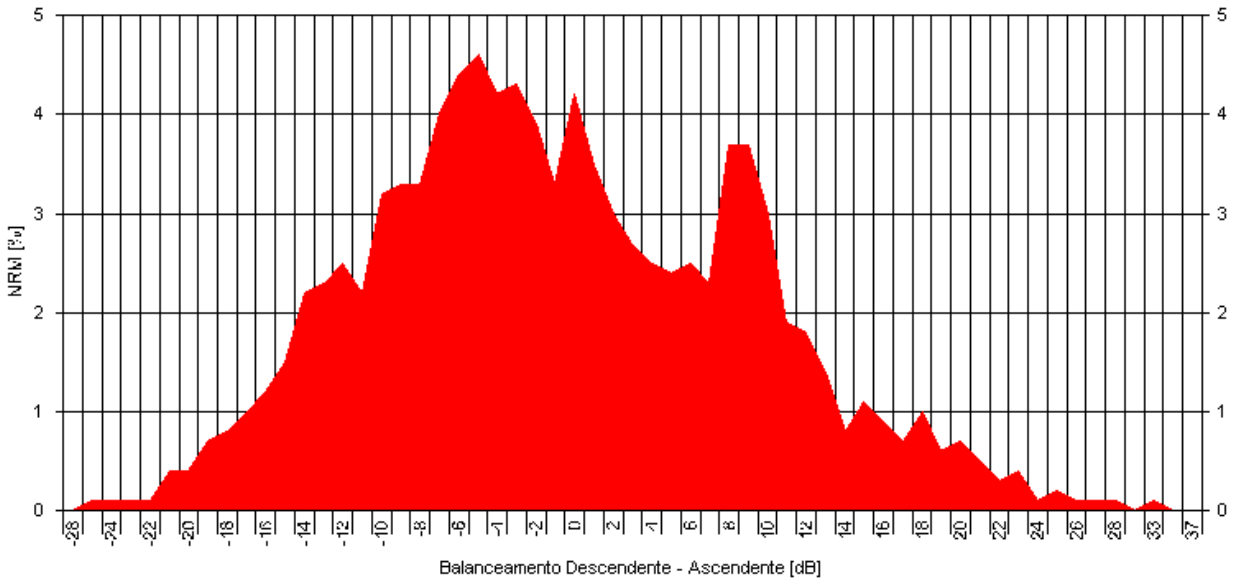

Figura D.52: Balanceamento de Potências, Belém, Amostra 11Out'01, 13h30-13h40, Valor Médio –0,7 dBm, Desvio Padrão 9,7 dBm.

D.6 SALDANHA

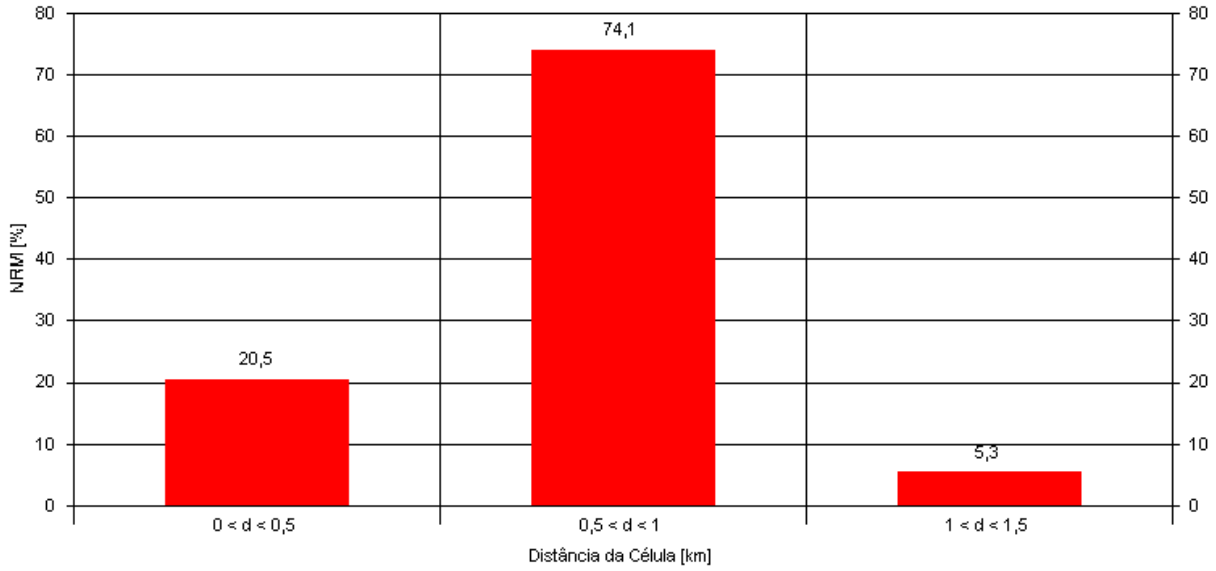

Figura D.53: Localização do Tráfego, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40, Distância Média 0,674 km, Desvio Padrão 0,243 km.

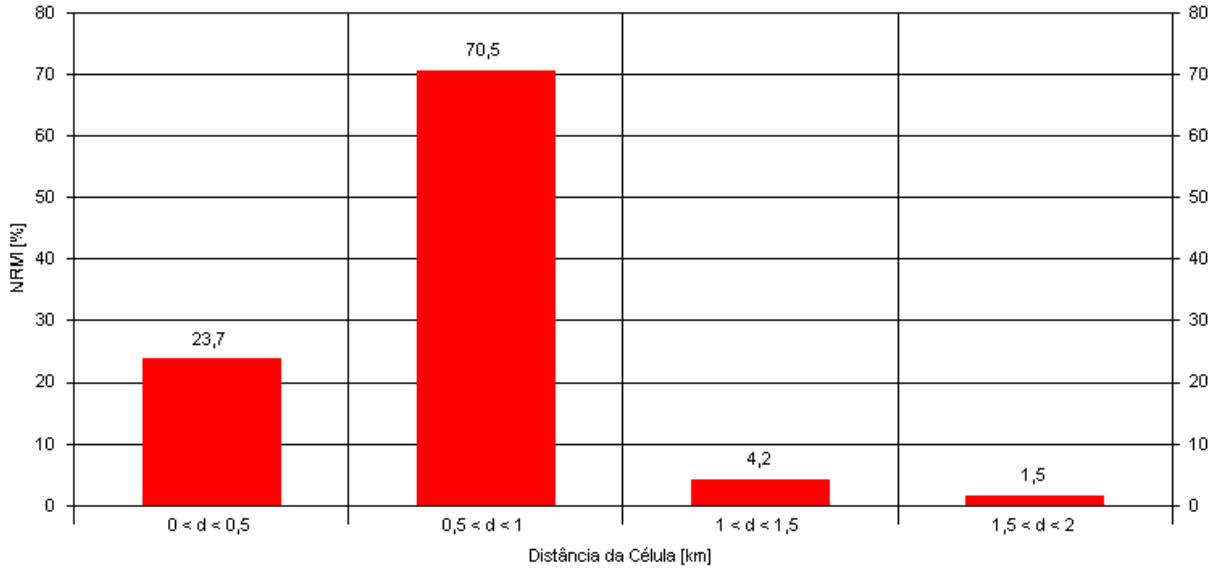

Figura D.54: Localização do Tráfego, Saldanha, Amostra 10Out'01, 20h30-20h40, Distância Média 0,668 km, Desvio Padrão 0,28 km.

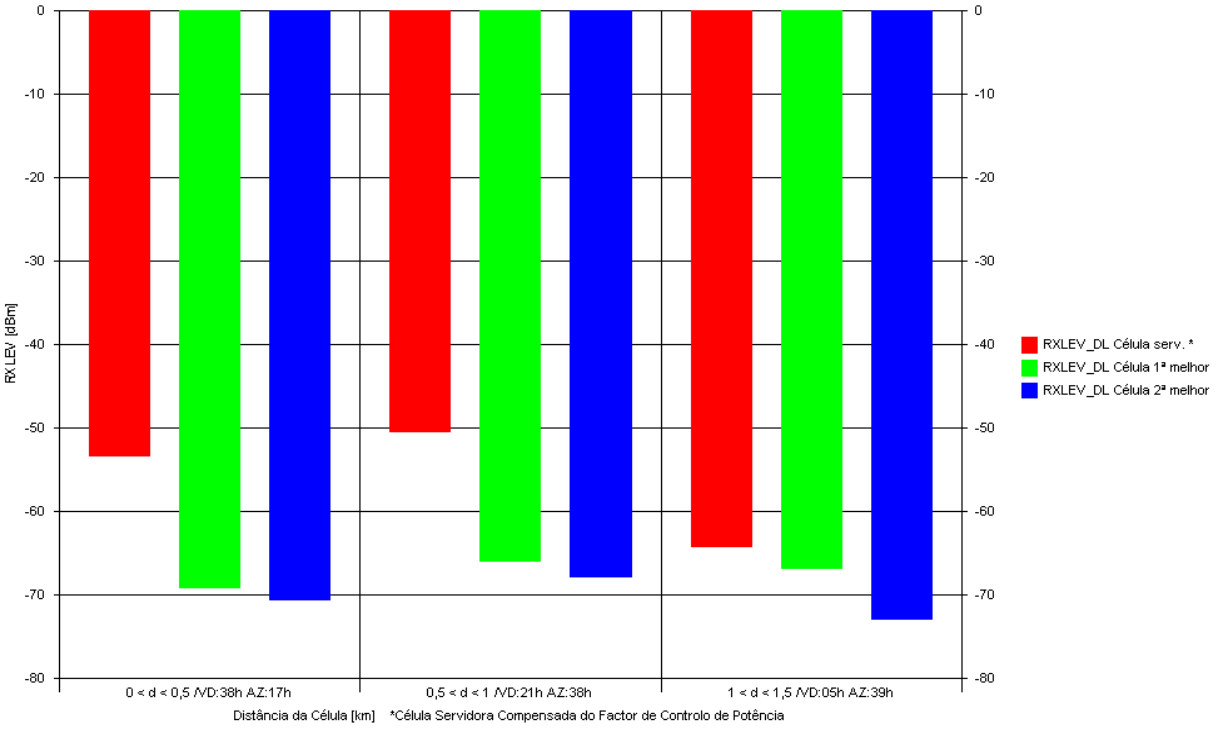

Figura D.55: Localização de Candidatas a Handover, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40.

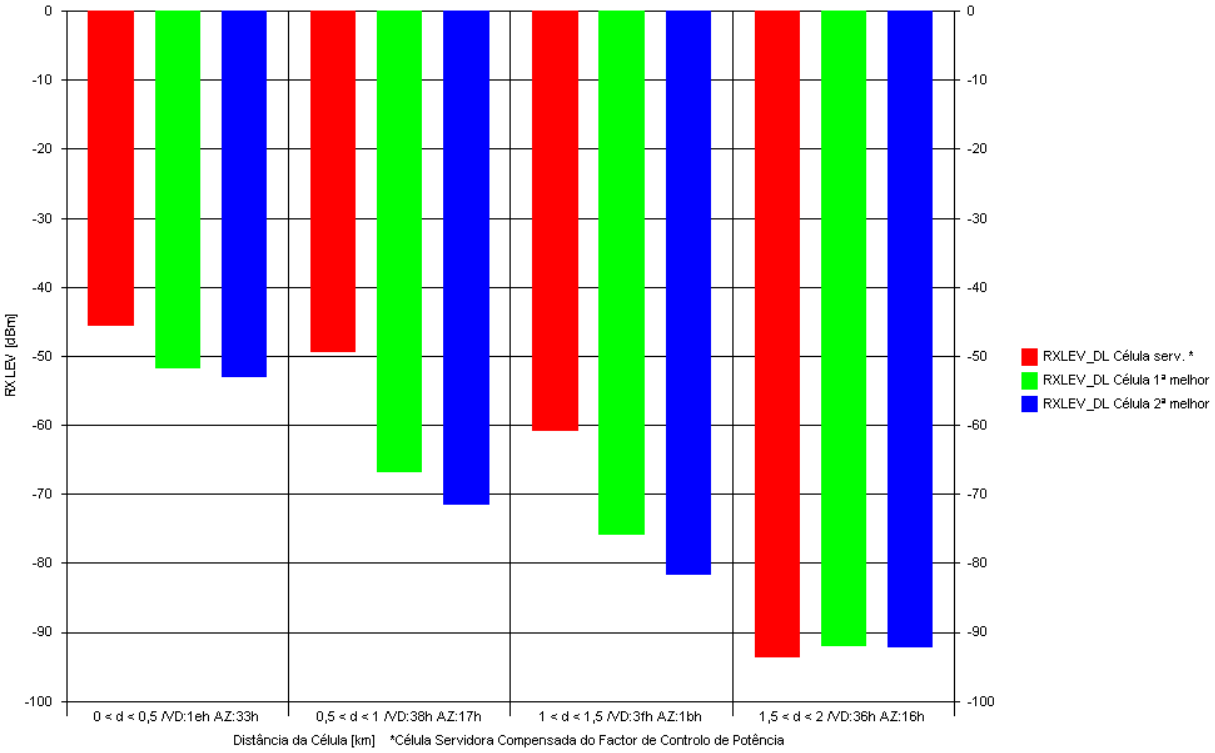

Figura D.56: Localização de Candidatas a Handover, Saldanha, Amostra 10Out'01, 20h30-20h40.

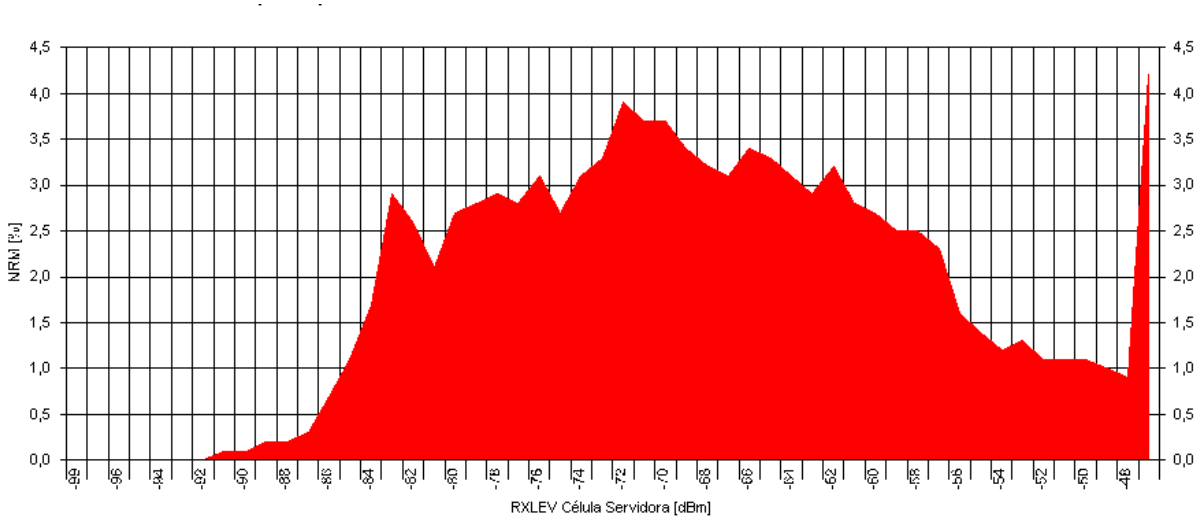

Figura D.57: Nível de Sinal no Canal de Propagação, Ligação Descendente, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40, 7302 Amostras, Nível Médio –67,9 dBm, Desvio Padrão 10,3 dBm.

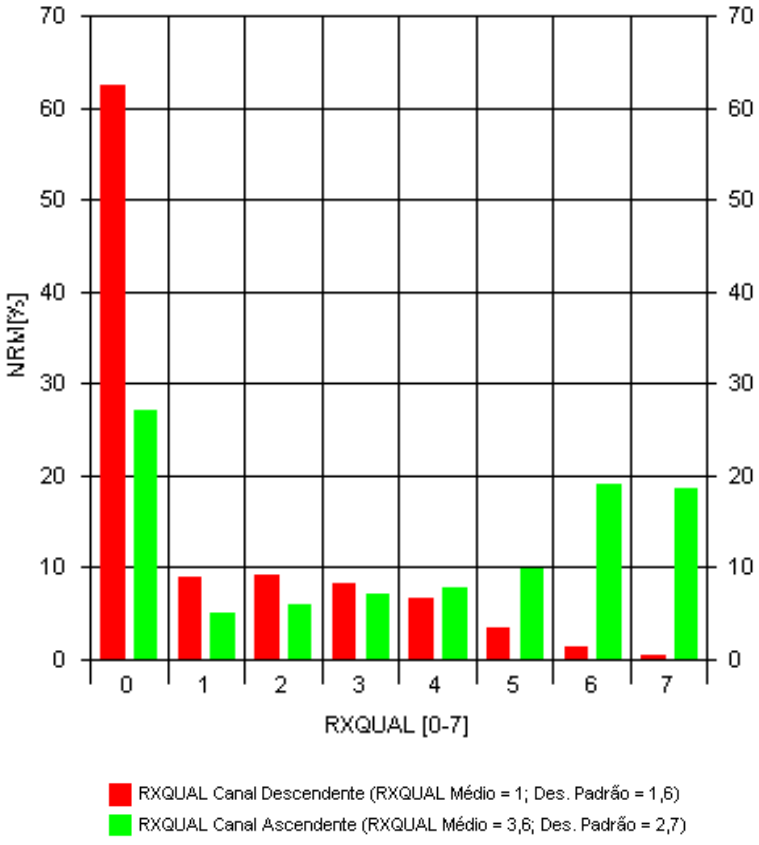

Figura D.58: Qualidade Média no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40.

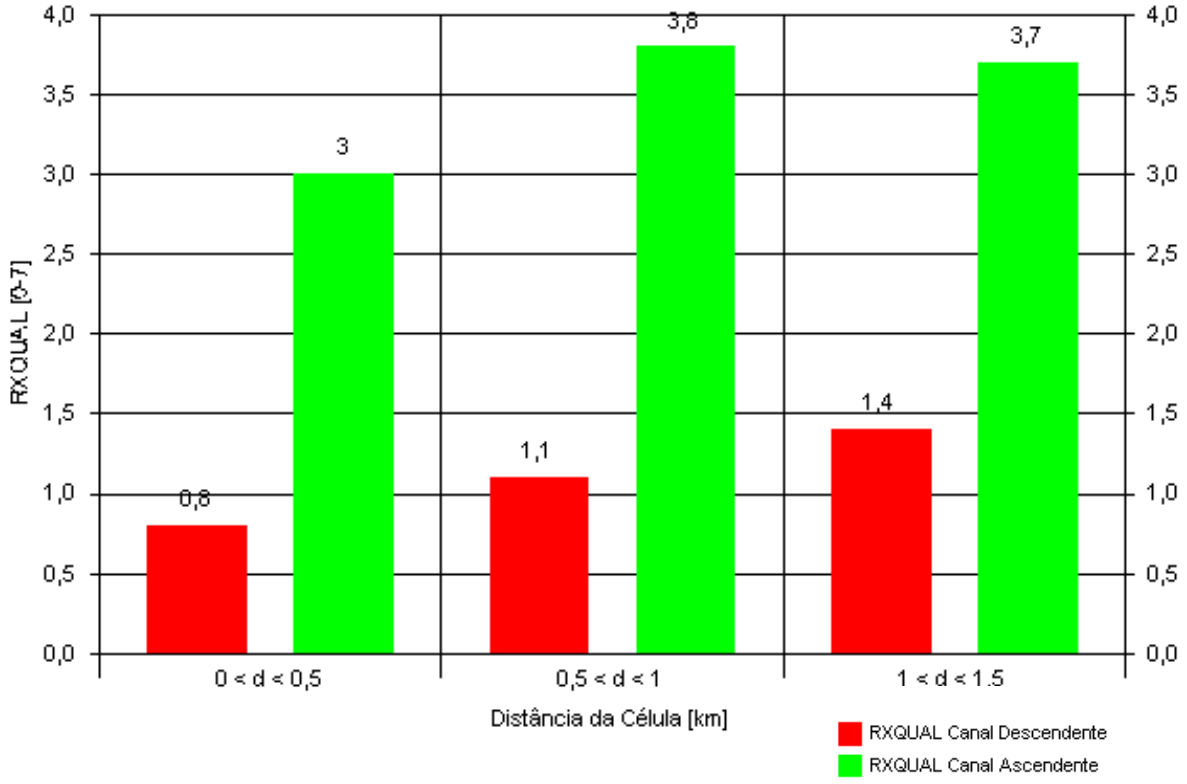

Figura D.59: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40.

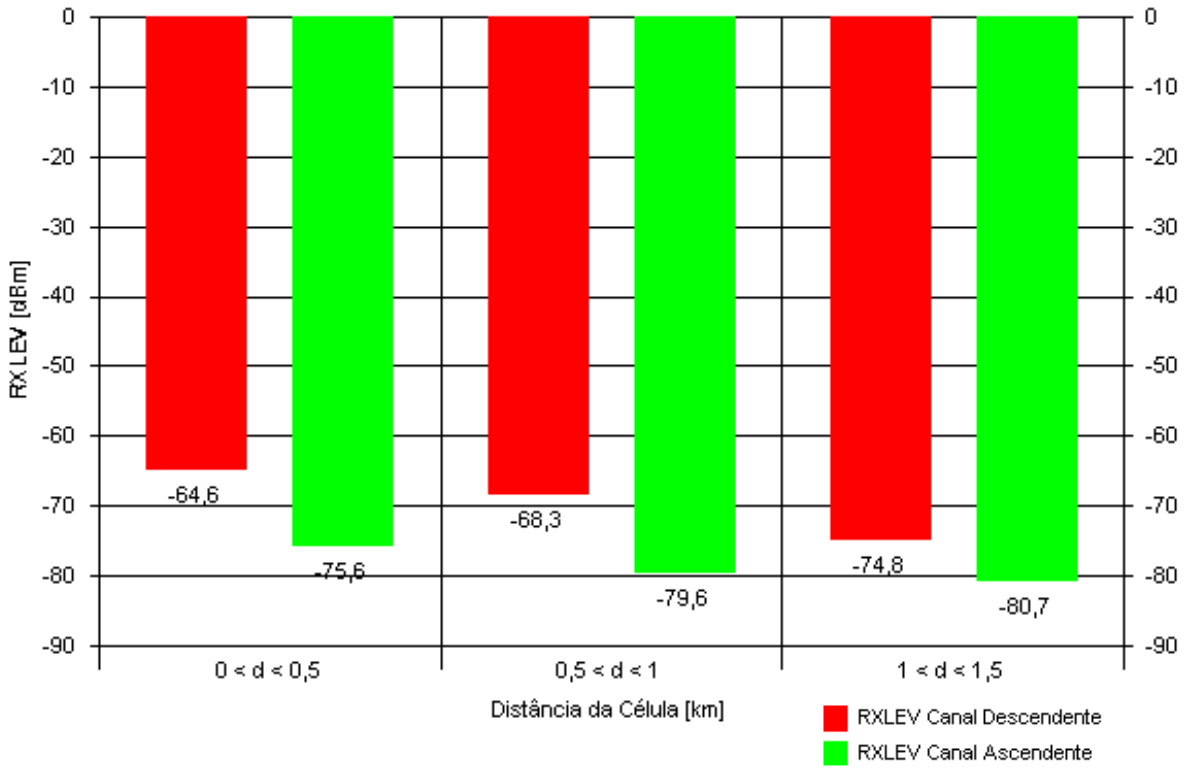

Figura D.60: Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40.

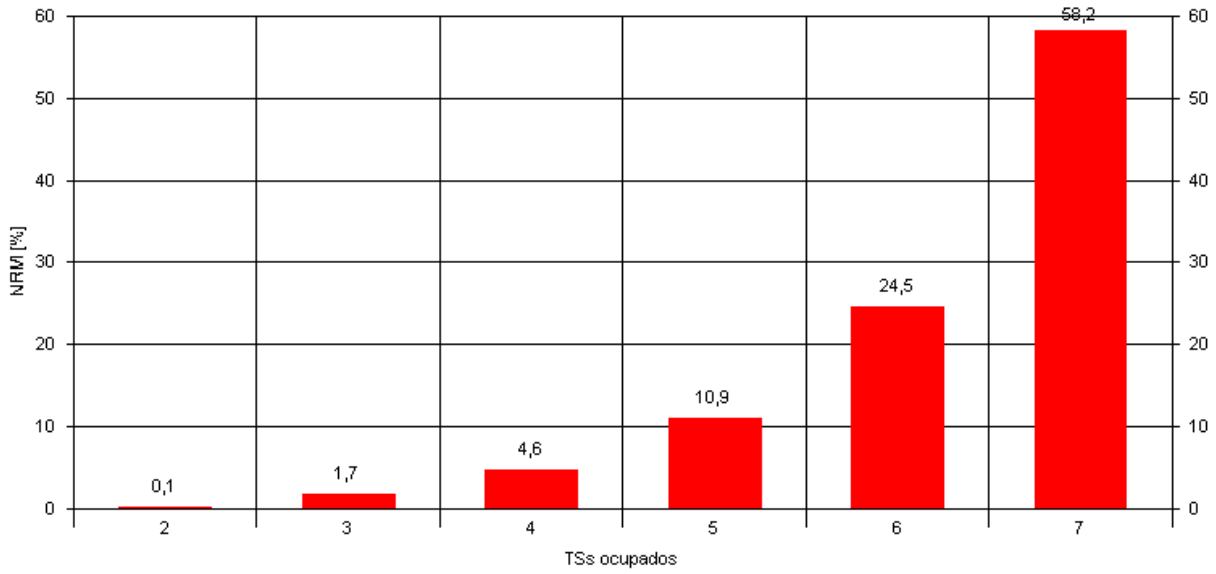

Figura D.61: Percentagem de Ocupação de Canais, Saldanha, Amostra 10Out'01, 12h30-12h40, 6798 Amostras, Ocupação Média 6,3 TS, Desvio Padrão 1 TS.

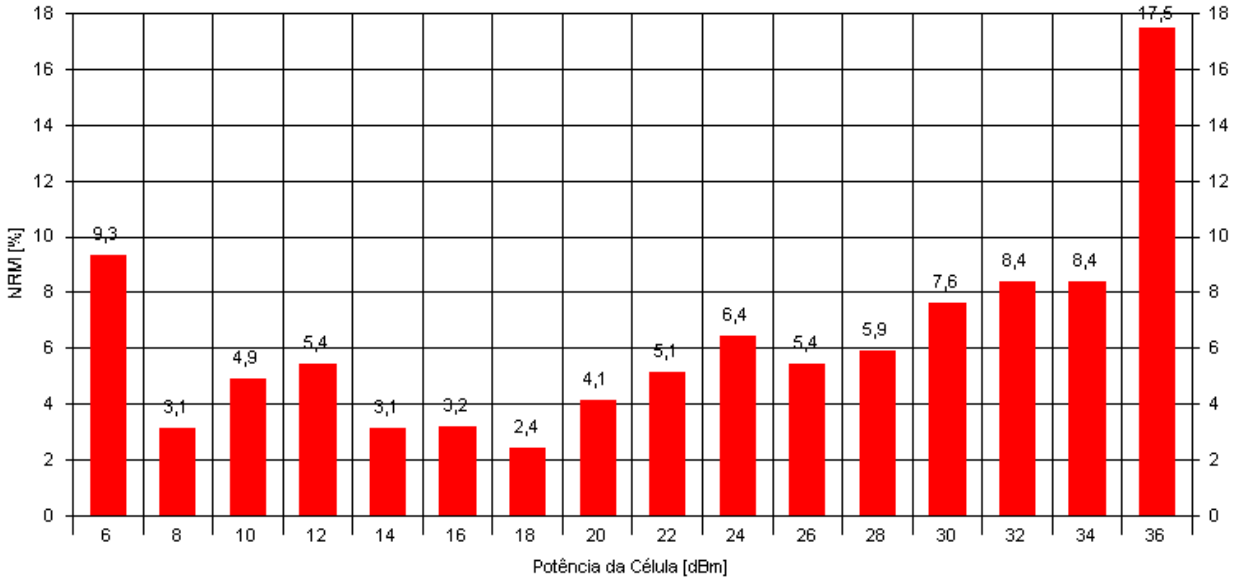

Figura D.62: Potência da Célula, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40, Potência Média 23,9 dBm, Desvio Padrão 10,2 dBm.

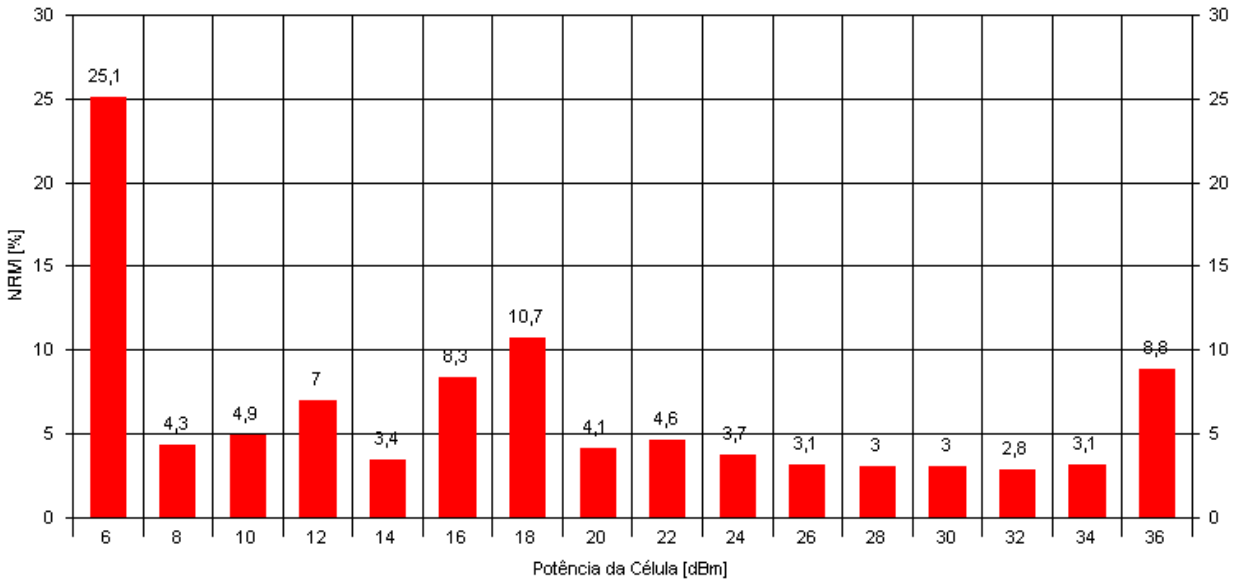

Figura D.63: Potência da Célula, Saldanha, Amostra 10Out'01, 20h30-20h40, Potência Média 17,3 dBm, Desvio Padrão 10 dBm.

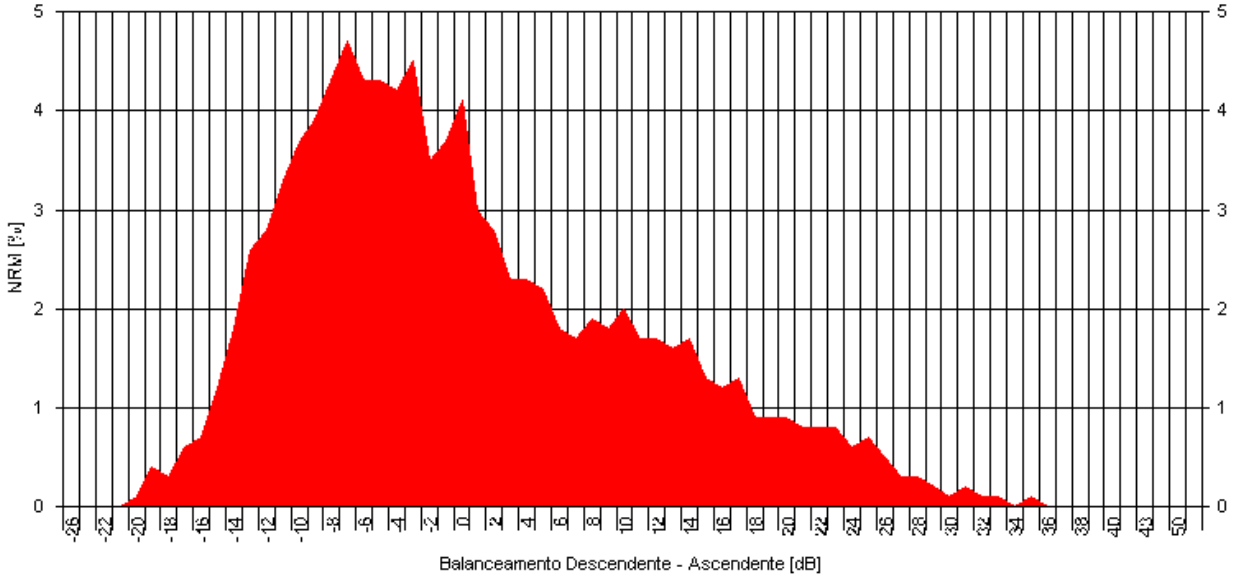

Figura D.64: Balanceamento de Potências, Saldanha, Amostra 10Out'01, 12h30-12h40, Valor Médio 0,4 dBm, Desvio Padrão 10,9 dBm .

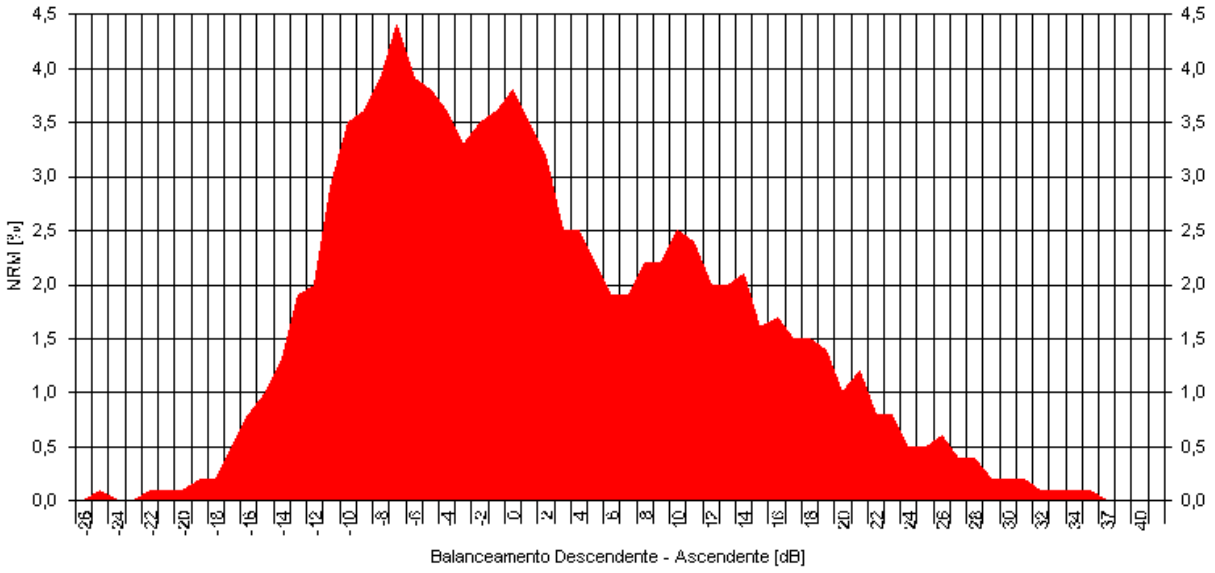

Figura D.65: Balanceamento de Potências, Saldanha, Amostra 10Out'01, 17h30-17h40, Valor Médio 1,8 dBm, Desvio Padrão 11 dBm .

D.7 SANTO ANTÓNIO DOS CAVALEIROS

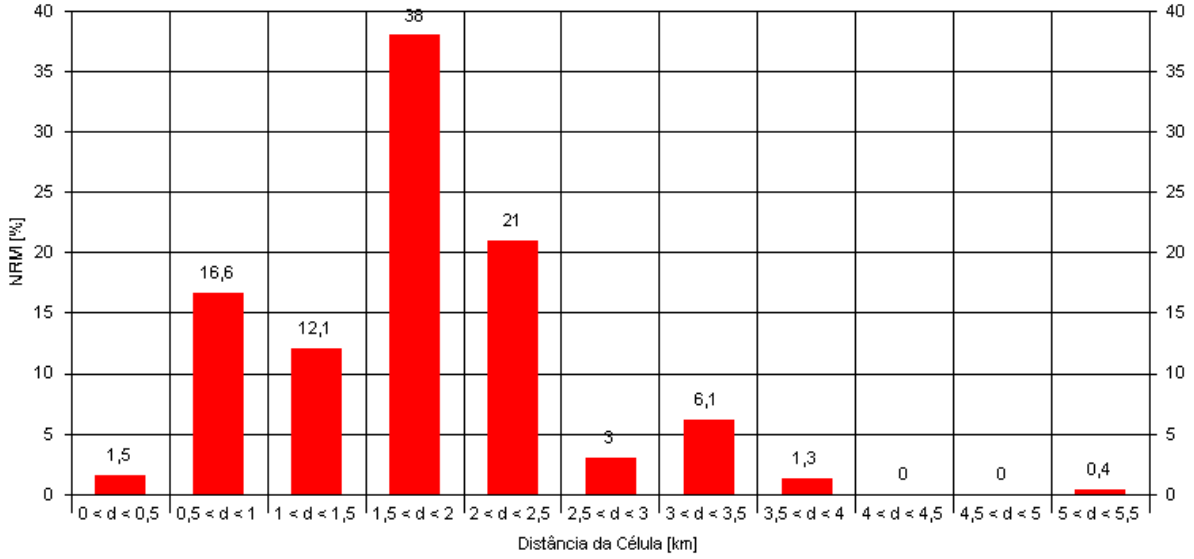

Figura D.66: Localização do Tráfego, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20, Distância Média 1,77 km, Desvio Padrão 0,745 km .

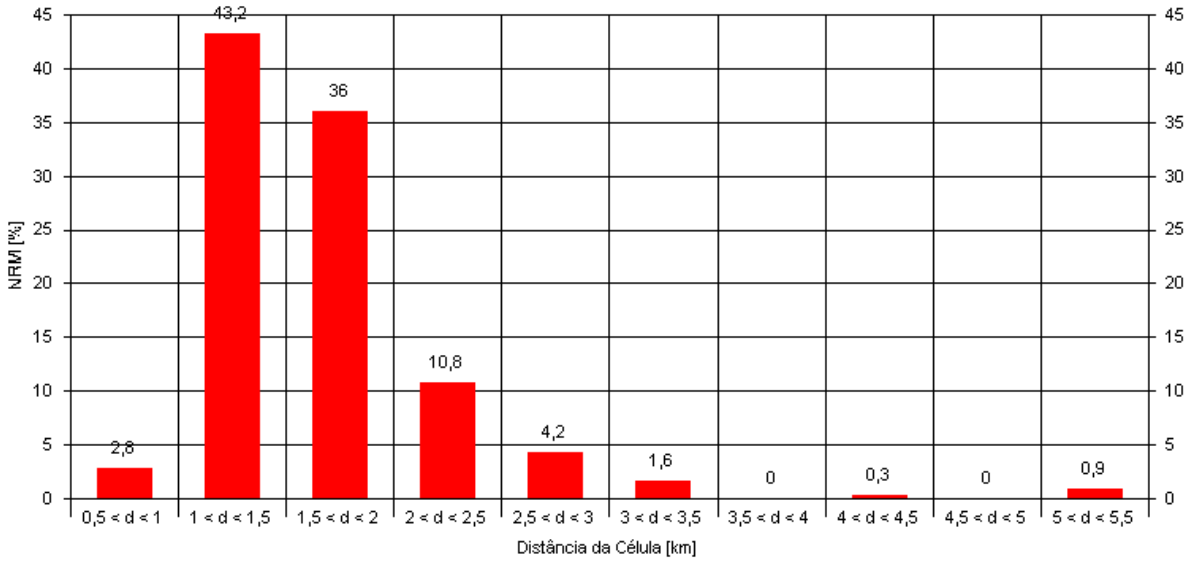

Figura D.67: Localização do Tráfego, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 21h10-21h20, Distância Média 1,668 km, Desvio Padrão 0,608 km.

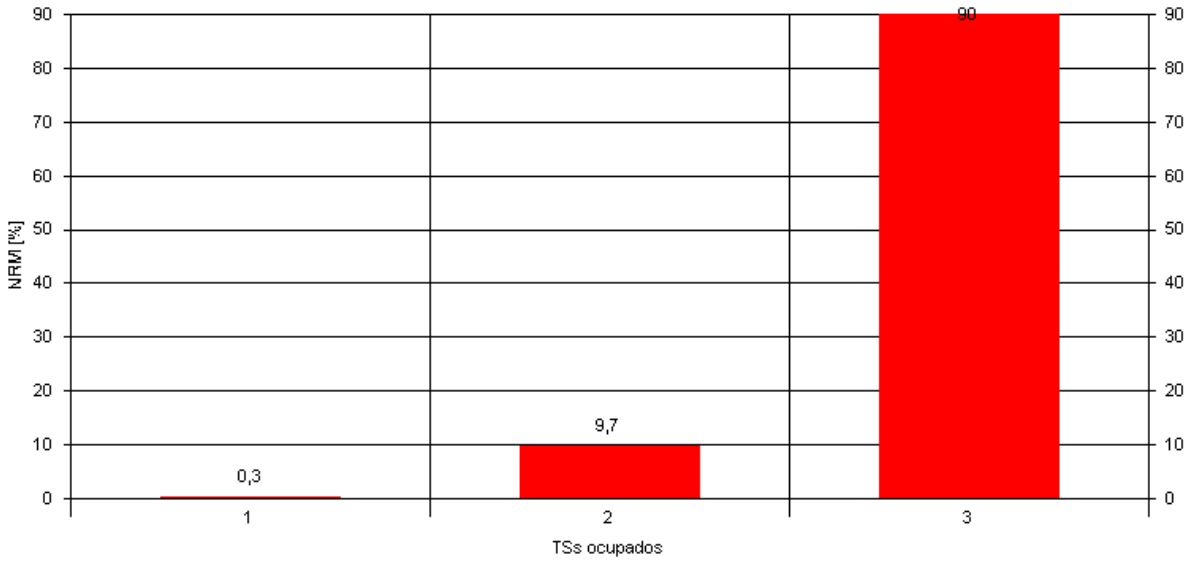

Figura D.68: Percentagem de Ocupação de Canais, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 21h10-21h20, 2639 Amostras, Ocupação Média 2,9 TS, Desvio Padrão 0,3 TS.

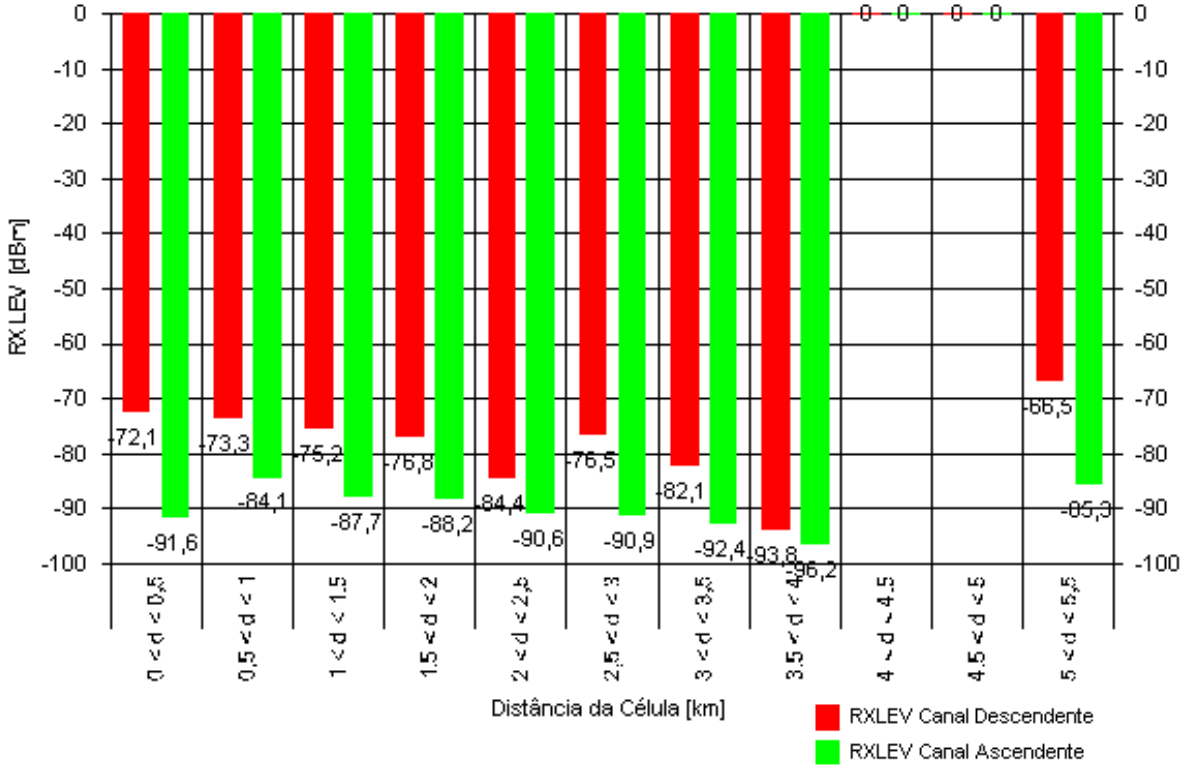

Figura D.69: Nível de Sinal da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

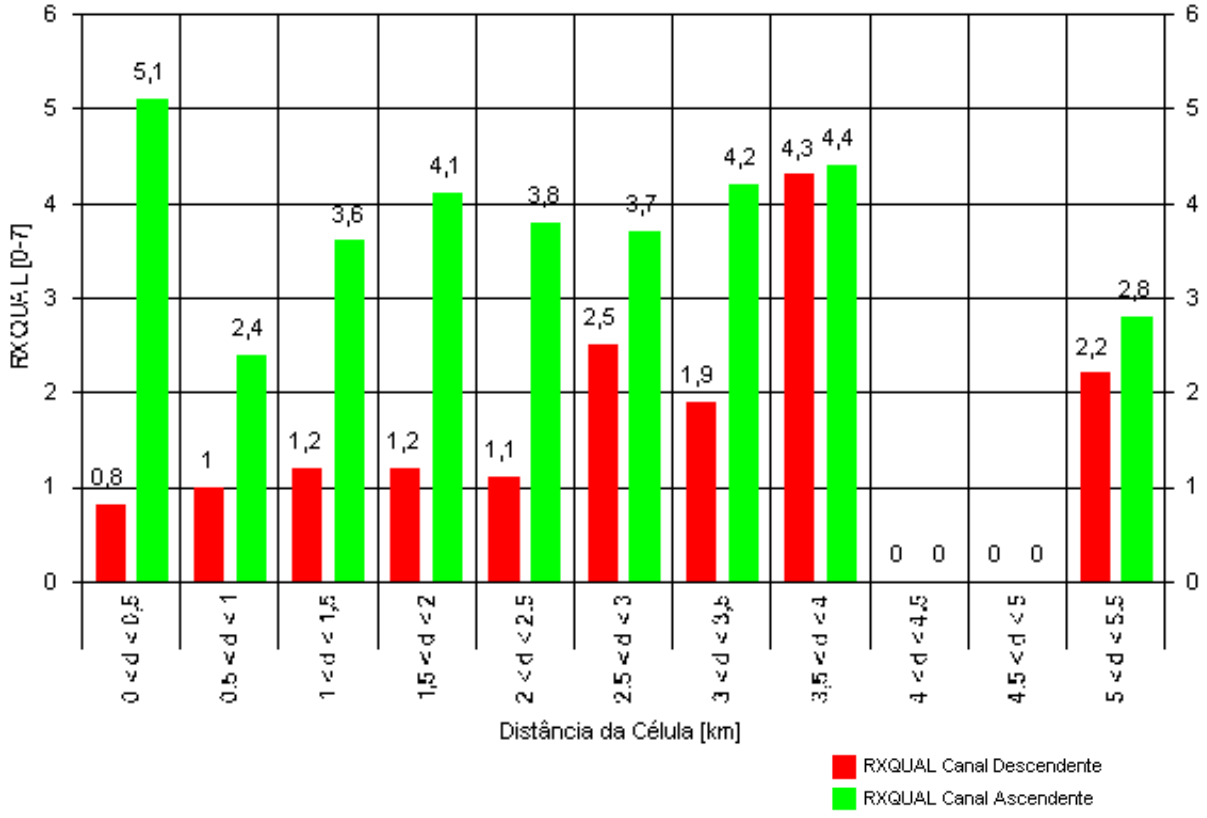

Figura D.70: Qualidade Média da Célula Servidora, Ligação Ascendente e Descendente, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

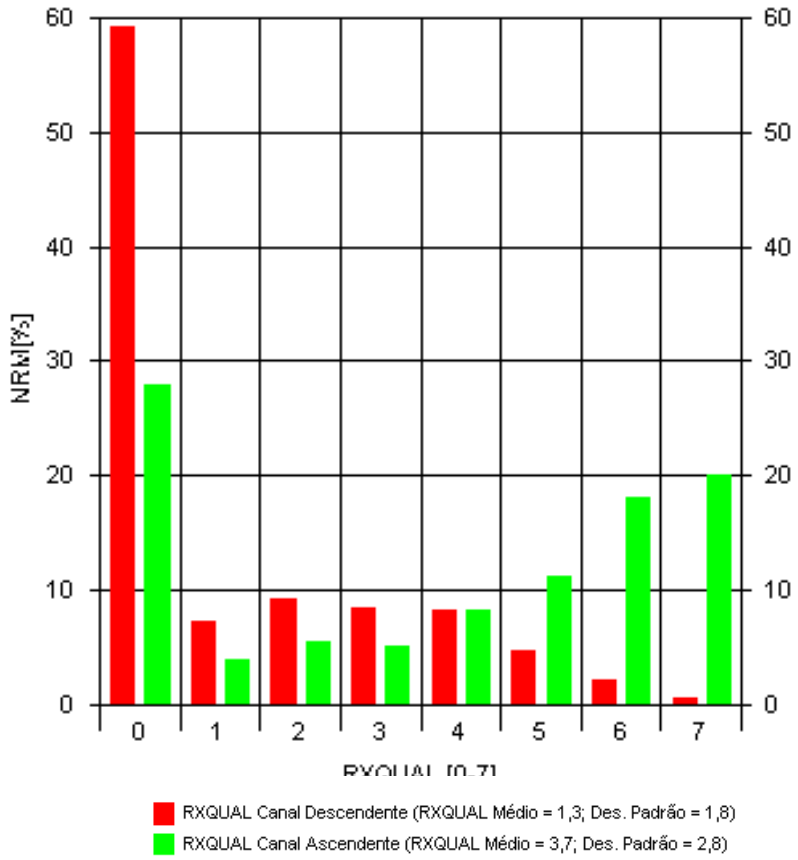

Figura D.71: Qualidade do Sinal no Canal de Propagação, Ligação Ascendente e Descendente, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

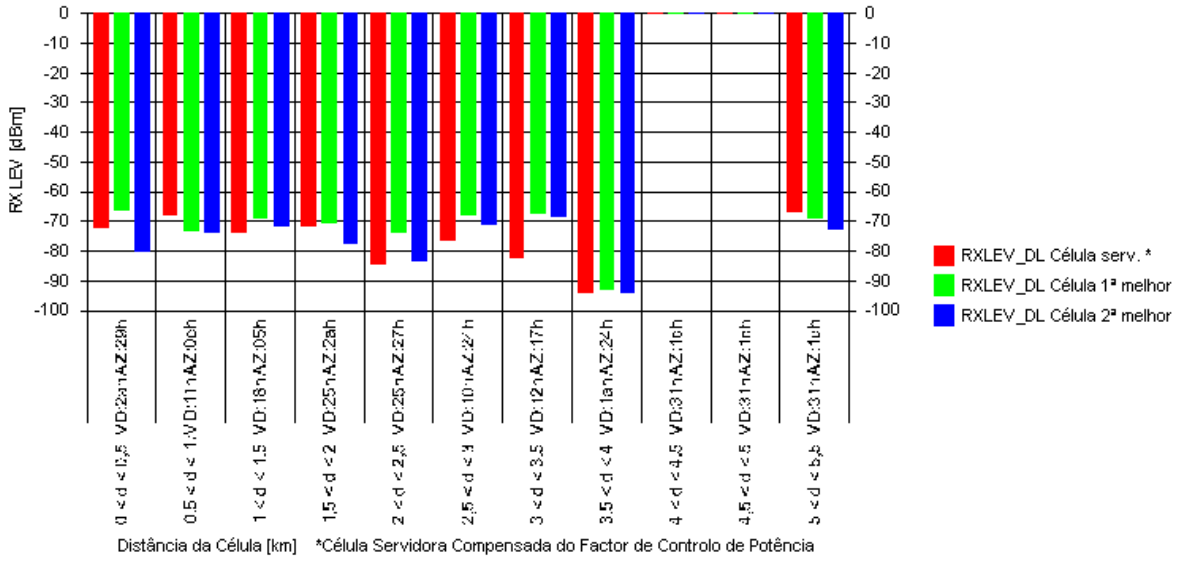

Figura D.72: Localização de Candidatas a Handover, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 15h10-15h20.

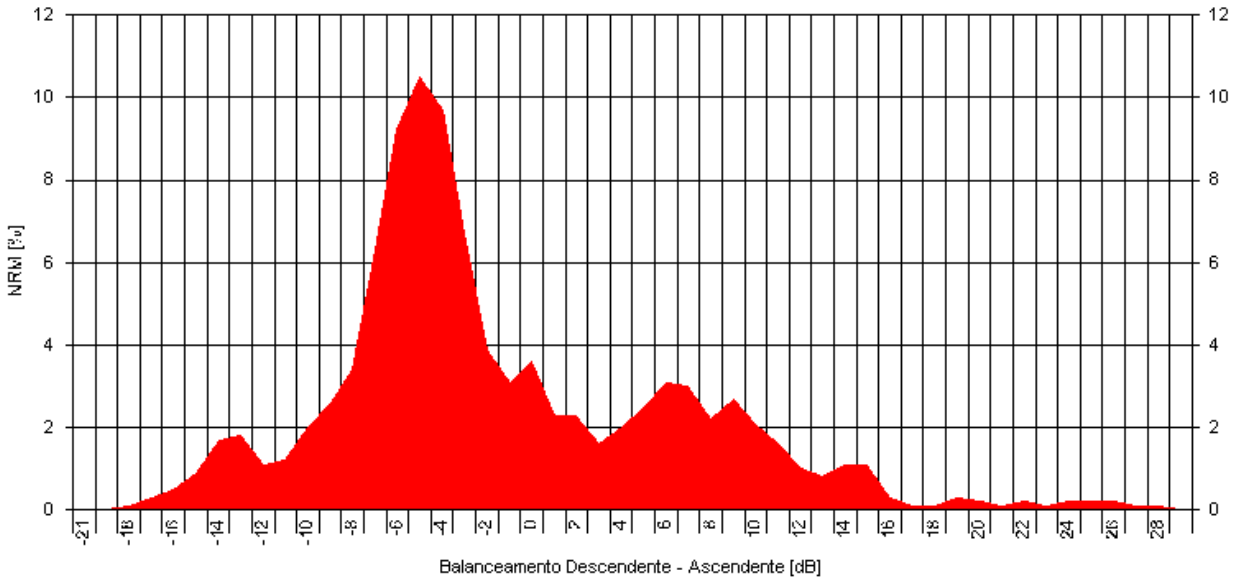

Figura D.73: Balanceamento de Potências, S. António dos Cavaleiros, Amostra 10Out'01, 21h10-21h20, 2639 Amostras, Média –1,4 dBm, Desvio Padrão 7,7 dBm .

REFERÊNCIAS

[1]	www.tmn.pt	05Out01
[2]	PT Inovação, Formação Tecnológica & de Serviços, "Redes UMTS", PT Inovação,	2001
[3]	www.icp.pt - publicações	26Set01
[4]	www.nokia.com	29Nov00
[5]	www.telemóveis.com - noticias	2000
[6]	Motorola, "GSM air interface review", Motorola LTD	5Mar01
[7]	Luís Correia, "Comunicações Móveis-Parte I", AEIST	Mar99
[8]	ETSI, "Norma GSM- CD Rom"	25Jun99
[9]	*Windows 2000*, Formulário *Excel*	Out01
[10]	R. Steele, "Mobile Radio Comunications", Pentech Press, London	1992